

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

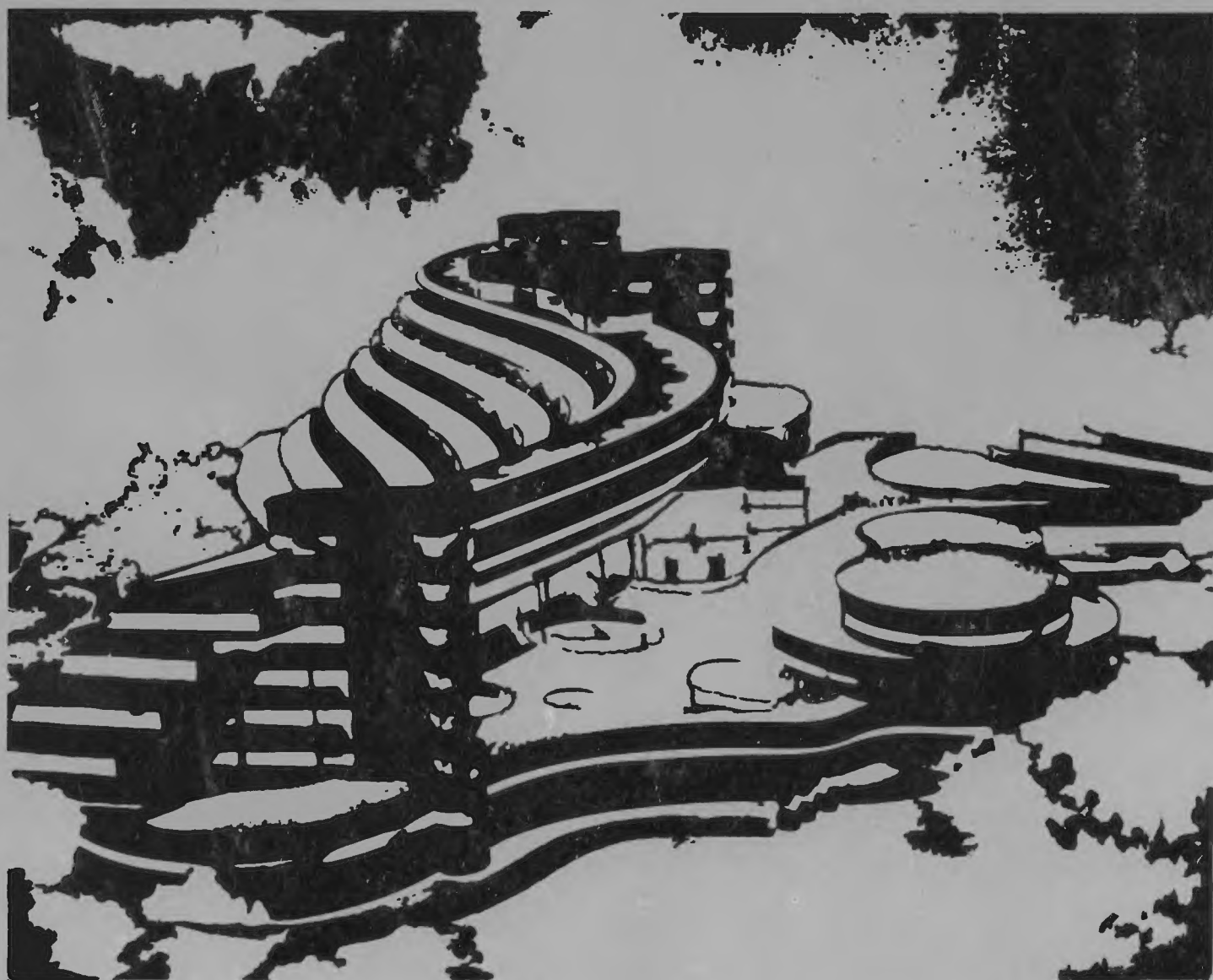
АРХИТЕКТУРНАЯ БИОНИКА

Метод
архитектурной бионики,
вопросы моделирования

Architectural Bionics

Понятие
архитектурной бионики

Направления разработок,
проводимых
в архитектурной бионике



МОСКВА СТРОЙИЗДАТ

АРХИТЕКТУРНАЯ БИОНИКА

Под редакцией
Ю. С. Лебедева



**МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1990**

Архитектурная бионика /Ю.С. Лебедев, В.И. Рабинович, Е.Д. Положай и др.; Под ред. Ю.С. Лебедева. — М.: Стройиздат, 1990. — 269 с.

В книге обобщаются достижения в области использования законов живой природы в мировой архитектурной практике. Наряду с анализом практики раскрываются смысл, содержание и методологические стороны этой новой науки. Рассматриваются возможности, заложенные в живой природе, которые можно использовать в решении проблем формообразования, технического обеспечения, красоты и гармонии архитектурных форм. Большое внимание уделяется синтезу архитектуры и живого природного окружения, открывающему путь к сохранению природы и организации оптимальной среды существования человека.

Для архитекторов, инженеров, дизайнеров, а также для интересующихся вопросами современной архитектуры.

Табл. 15, ил. 376, список лит.: 158 назв.

Рекомендовано в изданию секцией бионики и биомедицинской кибернетики Научного совета по комплексной проблеме "Кибернетика" Президиума АН СССР

Редакционно-издательская группа:

И.А. Городецкая, В.А. Касаткин (руководитель), М.В. Перевалюк, Р.Л. Рощина, В.П. Сысоев, И.Ш. Чибисова

А в т о р ы: Ю.С. Лебедев, В.И. Рабинович, Е.Д. Положай, В.Ф. Жданов, Г.В. Брандт, О.А. Гациридзе (СССР), М.Шарафин (ЧССР), М.А. Антонян, Д.Б. Пюрвеев, А.И. Лазарев (СССР), А.Мунякович (СФРЮ), П.Солери (США), С.Б. Вознесенский (СССР), О.Бюттнер, Э.Хампе (ГДР), В.Г. Темнов (СССР), Ф.Отто, Б.Буркхардт, Х.Дрюседау, Р.Грефе, Ю.Хеннике, Х.Оккен, Э.Шаур, И.Шмаль, Р.Шнейдер, К.Тивиссен (ФРГ), М.Матеев (НРБ).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Представляем архитектурную бионику. <u>Ю.С. Яра-лов</u>	6
Бионика и научно-технический прогресс. <i>В.М. Аху-тин</i>	8
Предисловие. <i>Ю.С. Лебедев</i>	13
Глава I. Архитектура и живая природа — непрерыв- ный процесс взаимодействия	
Архитектурная бионика — новое направление в науке и практике архитектуры. <i>Ю.С. Лебедев</i>	16
Исторические предпосылки развития архитектур- ной бионики. <i>Ю.С. Лебедев</i>	20
Развитие теоретических взглядов в вопросе свя- зи формирования архитектуры и живой природы. <i>Ю.С. Лебедев, В.И. Рабинович</i>	24
Формирование теории органической архитектуры. <i>Е.Д. Положай</i>	26
Инженерно-биологические исследования. <i>Ю.С. Ле- бедев</i>	36
Натурализм или реалистический подход? <i>Ю.С. Ле- бедев, В.И. Рабинович</i>	42
Глава II. Метод архитектурной бионики — механизм познания и практической реализации взаимосвязи архитектуры и живой природы. <i>Ю.С. Лебедев</i>	
Глава III. Основные принципы архитектурно-биони- ческого моделирования.	
Общее понятие модели в архитектурной био- нике. <i>Ю.С. Лебедев</i>	54
Характеристика свойств архитектурно-биониче- ских моделей и их классификация. <i>Ю.С. Лебедев</i>	55
Архитектурно-бионические модели как средство экспериментального исследования. <i>Ю.С. Лебе- дев</i>	56
Элементы архитектурно-бионического моделиро- вания форм живой природы. <i>Ю.С. Лебедев, В.Ф. Жданов</i>	61
Математическое моделирование оболочек-скор- луп. <i>Г.В. Брандт</i>	66
Глава IV. Гармония формообразования в архитекту- ре и в живой природе	
Единство функции и формы — объективная основа гармонии. <i>Ю.С. Лебедев</i>	70
Форма и пространство в архитектуре. <i>Ю.С. Ле- бедев</i>	73
Мезоформы — мезоструктуры — мезопростран- ство. <i>Ю.С. Лебедев</i>	74
Структурный элемент архитектурной формы. <i>Ю.С. Лебедев</i>	75
Проблема единства средств гармонизации архи- тектурной формы. <i>Ю.С. Лебедев</i>	76
Симметричная деятельность асимметричных струк- тур (проблема равновесности систем). <i>Ю.С. Ле- бедев, О.А. Гоциридзе</i>	80
Спираль и винтовые кривые. <i>Ю.С. Лебедев, В.Ф. Жданов</i>	88
Процессы ветвления в живой природе и архитек- туре. <i>В.Ф. Жданов, Ю.С. Лебедев</i>	94
Золотое сечение в живой природе и архитекту- ре. <i>Ю.С. Лебедев, В.Ф. Жданов</i>	97
Бионика и архитектурное творчество. <i>М. Шара- фин</i>	109
Образы природы в архитектуре. <i>Ю.С. Лебе- дев</i>	116
Пластические образы синтеза архитектуры и природы. <i>М.А. Антонян</i>	118
Глава V. Повторяемость (стандарт) и комбинатор- ность форм живой природы и архитектуры. <i>Ю.С. Ле- бедев</i> .	
Что такое стандарт?	124
Типовое проектирование и стандарт.	124
Система модульной координации	126
Стандартный элемент и его комбинаторность в жи- вой природе	127
Глава VI. Экологические вопросы архитектурной бионики и проблема гармонии архитектурно-природ- ной среды.	
Регуляция среды в живом мире. <i>В.Ф. Жданов</i>	138
Город — живой организм. <i>Ю.С. Лебедев</i>	140
Природа кочевой (мобильной) архитектуры. <i>Д.Б. Пуреев</i>	144
Принципы формообразования высотных сооруже- ний — "биотектон". <i>А.И. Лазарев</i>	149
Биоурбанизм. <i>А. Мутнякович</i>	156
"Аркология" — воображаемый город. <i>П. Солери</i>	168
Глава VII. Тектоника архитектурных и природных форм	
Тектоника как средство гармонизации архитек- турной формы. <i>Ю.С. Лебедев</i>	180
"Строительный материал" живой природы. <i>Ю.С. Лебедев</i>	181
Противоречия функционирования природных форм и тектоника. <i>Ю.С. Лебедев</i>	183
Проблема единства технологии и архитектурной формы. Конструктивная система — турбосома. <i>Ю.С. Лебедев</i>	187
Конструктивно-тектонические системы живой природы. <i>Ю.С. Лебедев, С.Б. Вознесенский</i>	187
Термодинамические аспекты формообразования и развития систем архитектуры и природы. <i>Ю.С. Ле- бедев, В.Ф. Жданов</i>	199
Аналогия форм и конструктивные принципы в природе и строительной технике (эволюция). <i>О. Бюттнер, Э. Хампе</i>	199
Оптимизация конструктивных систем на основе бионических принципов. <i>В.Г. Темнов</i>	218
Трансформация в архитектуре и в живой приро- де. <i>Ю.С. Лебедев</i>	232
Глава VIII. Практика строительства легких прост- ранственных конструкций на основе бионических исследований	
Биология и строительство. <i>Ф. Отто, Х. Оккен</i>	248
Конструкции в неживой природе. <i>К. Тивиссен, И. Шмаль, Р. Шнейдар</i>	250
Технология самостроительства живой природы. <i>Э. Шаур</i>	252
Постройки животных. <i>К. Тивиссен, И. Шмаль, Р. Шнейдар</i>	253
Форма — сила — масса. <i>Ю. Хеннике</i>	254
Высотные сооружения. <i>К. Тивиссен, И. Шмаль, Р. Шнейдар</i>	256
Изгибаемые балки — изгибаемые плиты. <i>К. Тивис- сен, И. Шмаль, Р. Шнейдар</i>	258
Палатки, мембраны, сетки. <i>Б. Буркхардт</i>	259
Своды, решетчатые структуры. <i>Р. Гrefe, Х. Дрю- седау</i>	262
Основные научно-творческие сферы архитектурной бионики. <i>М. Матеев</i>	264
Вместо послесловия. <u>Г.Б. Борисовский</u>	265
Список литературы	266

ПРЕДСТАВЛЯЕМ АРХИТЕКТУРНУЮ БИОНИКУ

Архитектурная бионика — новое явление в архитектурной науке и практике. Сейчас, может быть, рано говорить о всех ее возможностях, однако имеющийся практический опыт в этом направлении у нас и за рубежом открывает широкие горизонты решения различных интересных архитектурных проблем с помощью патентов живой природы. Здесь и возможности поиска новых, функционально оправданных архитектурных форм, отличающихся красотой и гармонией, и создание новых рациональных конструкций с одновременным использованием удивительных свойств строительного материала живой природы, и открытие путей реализации единства конструирования и создания архитектурных средств с использованием энергии солнца, ветра, космических лучей. Но, пожалуй, наиболее важным ее результатом может быть активное участие в создании условий сохранения живой природы и формировании гармоничного ее единства с архитектурой.

Одновременно с общей, технической бионикой в СССР в ЦНИИТИА с 1960 г. было положено начало развитию архитектурной бионики. Первая заявка на нее была сделана в опубликованной в 1962 г. статье молодых архитекторов Ю.С.Лебедева и В.В.Зефельда "Конструктивные структуры в архитектуре и в растительном мире"¹.

Несколько позднее Ю.С.Лебедевым это направление в архитектуре по аналогии с технической бионикой было названо вначале "строительной бионикой", затем в связи с открывшимся более широким диапазоном ее возможностей — "архитектурно-строительной бионикой"², а затем "архитектурной бионикой"³.

С 1970 г. в ЦНИИТИА в составе сектора технических проблем архитектуры работает лабораторная группа по архитектурной бионике ЦНИИТИА стал координирующим центром разработок проблем архитектурной бионики в СССР⁴.

По плану научно-исследовательских работ Комитета по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР ЦНИИТИА совместно с крупнейшими институтами Ленинграда, Киева и Тбилиси (ЛенЗНИИЭП, КиевЗНИИЭП и ТблЗНИИЭП) ведет работу по использованию средств архитектурной бионики в экстремальных климатических условиях строительства Крайнего Севера, зоны пустынь, высокогорья. По этой теме имеются уже практические результаты. Особое значение здесь приобретает создание мобильного жилья и зданий культурно-бытового обслуживания для нефтяников, оленеводов, охотников и рыболовов Крайнего Севера.

Думается, не случайно архитектурная бионика зародилась в недрах ЦНИИТИА. Первые этапы ее развития требовали широкого теоретического обоснования проблемы. Да и сейчас круг вопросов ее настолько широк, что требует постоянной координации и системного освещения, время же глубокой специализации архитектурной бионики и распределения ее по типологическим институтам еще не пришло.

Было бы неправильно думать, что это направление может подменить основную стратегическую линию развития советской архитектуры. Однако архитектурная бионика может превратиться и в сильное средство, с помощью которого будут решаться различные важные задачи советской архитектуры. И здесь средства не лишаются своего лица, они могут оказать сильное влияние на архитектуру — ее формы, функциональные решения, гармонию форм. Об этом говорят и архитектурные примеры, в которых были использованы законы живой природы: Останкинская радиотелевизионная башня в Москве, Олимпийские объекты — велотрек в Крылатском, мембранные покрытия крытого стадиона на проспекте Мира и универсального спортивно-зрелищного зала в Ленинграде, ресторан в Приморском парке Баку и его привязка в г. Фрунзе — ресторан "Бермет" и др.

Однако в связи с тем, что живая природа не имеет национальной специфики, возникает один важный вопрос: не может ли перенесение закономерностей формообразования живой природы в архитектуру сnivelировать национальные черты архитектуры, с необходимости которых сейчас говорят все больше и больше в связи с желанием преодолеть однообразие, внесенное в архитектуру индустриализацией строительства.

На этот вопрос можно ответить следующим образом.

Биогеосфера, или природный ландшафт приобретает, как правило, национальный характер. Он почти безошибочно узнаваем для определенных географических точек мира; его знают и поэтому не случайно ассоциируют с развитием национальных особенностей тех или иных стран.

С биогеосферой, включающей характерные формы живой природы, рельеф земной поверхности, побережий морей, рек, озер, их цветовую гамму, зодчие всегда старались связать архитектуру. Особенно ярко такая связь была выражена в само-

¹ В сб.: "Вопросы современной архитектуры. — Советская архитектура, М., Стройиздат, 1962.

² Лебедев Ю.С. Строительная техника природы. — Декоративное искусство СССР, 1966, № 7.

³ Лебедев Ю.С. Бионический метод в архитектуре. — Архитектура СССР, 1970, № 6; Лебедев Ю.С., Вознесенский С.Б., Гоциридзе О.А. От биологических структур к архитектуре. М., Знание, 1971.

⁴ В 1984 г. при ЦНИИТИА организована Центральная Научно-исследовательская и экспериментально-проектная лаборатория архитектурной бионики (ЦНИЭЛАБ).

бытной, народной архитектуре (в России, например, деревянная архитектура усадеб и церквей XVII в., старый рынок в Бухаре, церковь Джвари в Мцхета).

Однако современные аспекты связи архитектуры с живой природой, определяемые архитектурной бионикой, претерпели большие изменения по своему существу, не говоря уже о их техническом "оформлении". Они могут доходить до использования в архитектуре не только принципов формообразования, но и технологии функционирования живой природы. Например, технологии некоторых производств, и особенно связанных с биохимией, могут быть эффективно организованы по аналогии с биохимическими процессами, происходящими в живых организмах. Не исключено также совершенствование системы функциональных связей в жилых районах и в городах на основе изучения энерготехнических законов живой природы, принципов ветвления равновесного взаимодействия биомасс в популяциях и т.д.

Особую остроту архитектурная бионика приобретает в решении задачи, поставленной временем в условиях научно-технического прогресса, — сохранения окружающей среды.

Одним из важных моментов, демонстрирующих широкую солидарность специалистов по архитектурной бионике, стала организованная Всероссийским обществом охраны природы совместно с ЦНИИТИА выставка в Москве: "В гармонии с природой, Архитектурная бионика-82"¹.

Выставка превратилась как бы в итог достижений архитектурной бионики за предыдущий период ее развития в СССР. Она отлично продемонстрировала достижения архитектурной бионики, широту охвата ее тематики.

На выставке были представлены работы, начиная с теорико-исторических и методологических исследований, разработок конструктивного характера, поисков новых форм, экологических аспектов архитектуры до создания художественных образов, навеянных красотой живой природы.

Особое значение для реализации архитектурно-бионических идей в архитектурной практике имеют конструктивные разработки, чему немело способствует сотрудничество с Координационным советом по пространственным конструкциям ЛенЗНИИЭП.

Одним из этапов организации разработок по теме архитектурной бионики явилось создание в ЦНИИТИА нового сектора "Технических проблем архитектуры и архитектурной бионики", что позволит укрепить практическую направленность разработок в области архитектурной бионики.

С целью эффективной координации разработок по архитектурной бионике в СССР в 1977 г. при Научном совете по комплексной проблеме "Кибернетика" в составе секции бионики (руководитель — д-р техн. наук В.М. Ахутин) была создана комиссия архитектурной бионики (председатель — канд. архит. Ю.С. Лебедев), которая осуществляет координацию архитектурно-бионических исследований по линии АН СССР, и в 1981 г. секция архитектурной бионики при СА СССР.

Комиссией и секцией архитектурной бионики ведется пропаганда ее идей в печати, в кино и по телевидению. При участии их членов создано несколько научно-популярных фильмов: "Бионика — архитектуре", "Природа и архитектура", "Живое пространство" и др. По архитектурной бионике читаются лекции в архитектурных институтах, в высших художественно-промышленных училищах в СССР и за рубежом.

Активисты комиссии архитектурной бионики выступают с лекциями, докладами, проводят конференции, участвуют в конференциях, организуемых другими ведомствами. В 1977 г. представители СССР участвовали в национальной конференции по бионике в Братиславе. В 1978 г. при ЦНИИТИА состоялась конференция по архитектурной бионике. В том же 1978 г. специалисты по архитектурной бионике приняли активное участие в Международной конференции социалистических стран по бионике (Ленинград) и т.д.

ЦНИИТИА, координируя работу по архитектурной бионике в Советском Союзе, одновременно укрепляет по этой тематике связи со странами социалистического содружества (ЧССР, ГДР, НРБ, СФРЮ и др.) и отдельными специалистами других зарубежных стран (ФРГ, США). Поэтому не случайно результатом такого сотрудничества стал совместный труд ученых этих стран по архитектурной бионике.

Будем надеяться, что этот труд поможет дальнейшему укреплению связи архитектуры и живой природы, а развитие этой науки будет способствовать прогрессу в архитектуре с учетом специфики каждой страны.

Ю.С. Яралов,

народный архитектор СССР,
доктор архитектуры, профессор

О т р е д а к ц и и: В октябре — ноябре 1983 г. в Государственном научно-исследовательском музее архитектуры им. А.В.Щусева были организованы совместные СССР (ЦНИИТИА) и ФРГ (ИЛ) выставка и симпозиум на тему "Природообразные конструкции. Архитектурная бионика". В мае — июне 1984 г. по инициативе ЦНИИТИА совместно с архитектурными факультетами Высшей технической школы в г. Братислава и Политехнического института в г. Брно при содействии обществ Советско-Чехословацкой (СССР) и Чехословацко-Советской (ЧССР) дружбы прошли симпозиум и выставка в Праге и Братиславе по теме "Архитектурная бионика".

БИОНИКА И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Среди возникших в 60-е годы синтетических междисциплинарных наук бионика занимает особое место, поскольку ее методология обуславливает самое тесное сотрудничество ученых и специалистов-биологов с научными работниками и инженерами, деятельность которых направлена на решение технических прикладных задач.

Именно бионический подход к изучению живой природы, и прежде всего морфологии, экологии и физиологии живых организмов, их элементов и популяций, оказывается весьма продуктивным при решении комплексных проблем научно-технического прогресса.

Естественно, что наиболее важными из них являются те, от успешного решения которых зависит повышение созидательной способности человеческого общества и улучшение условий его обитания на земле. К ним прежде всего относятся:

- повышение производительности и эффективности труда во всех сферах деятельности человека;

- расширение сырьевой, энергетической и продовольственной базы, в частности путем освоения мирового океана;

- синтез новых органических материалов;

- продление жизни человека с помощью автоматизации массовых профилактических мероприятий и прогнозирования эпидемий;

- продление трудовой деятельности путем создания технических средств для компенсации утраченных функций организма и разработки автоматизированных биорегулируемых протезов, органов и конечностей;

- разработка методов и технических средств для нормализации состояний человека в условиях производства и особенно в экстремальных ситуациях, не свойственных для жизни на земле;

- создание научной и технической базы для разработки вычислительных средств искусственного интеллекта, способного осуществлять функции управления в условиях нестандартной вероятностной среды;

- разработка методов и технических средств для синтеза эргатических систем повышенной эффективности и надежности с оптимальным распределением функций между человеком и машиной, адаптирующихся к изменению решаемых задач и состоянию внешней среды;

- разработка новых средств связи, ориентации, навигации и транспорта, включая космические и подводные супертоннажные корабли;

- разработка мероприятий по охране природных богатств и оздоровлению окружающей человека среды;

- исследование живых организмов и условий их обитания на Крайнем Севере, в пустыне, на глубинах морей и океанов с целью разработки адаптированных к этим условиям сооружений путем внедрения нетрадиционных архитектурных и строительных решений.

Анализ этого не претендующего на исчерпывающую полноту перечня основных задач научно-технического прогресса показывает, что ни одна из них не может быть решена без широкой консолидации ученых и специалистов самых различных отраслей знаний, без объединения биологических и технических наук с использованием современного математического аппарата и методологии, развиваемой бионикой.

Возникновение бионики — одно из наиболее ярких проявлений общей тенденции развития научных исследований, характерных для второй половины нашего столетия; наряду с продолжающейся дифференциацией наук началась их интеграция, взаимное проникновение и, наконец, слияние и объединение.

Известно, что таким великим достижениям науки и техническим реализациям, как оптическая линза, химические источники электричества, закон сохранения и превращения энергии, основы аэродинамики, принципы эхолокации и многие другие, человечество обязано в своей основе глубокому изучению живых организмов и явлений в живой природе.

Однако, несмотря на то, что человечество пытается воспроизвести достижения живой природы со времен далекой древности, бионика как наука возникла только теперь, в 60-е годы XX в.

Закономерность возникновения бионики в наше время обуславливается наличием трех факторов.

Первый из них — острая взаимная потребность в тесном взаимодействии, обмене опытом, научной информацией и идеями представителей биологических и технических наук при решении задач, свойственных этим наукам.

Второй фактор — необходимость решения задач, стоящих на грани этих наук, таких, как протезирование органов, объективный контроль за состоянием организма человека в условиях космических полетов, глубоководных погружений, инженерно-психологическое проектирование систем "человек — машина" и др.

Третьим фактором явилось то, что именно к середине нашего столетия были уже накоплены определенные знания в области изучения структуры и функционирования живых организмов, разработаны основные методы их изучения, а также появилась научная и техническая база, необходимая для постановки этих исследований.

Ярким примером тому служит задача исследования аппарата ориентации летучей мыши. Постановка этой проблемы, целью которой была разработка технических предложений по компенсации утраченного зрения у людей, связана с именем итальянского ученого Спаланцани, работавшего в конце XVIII в. Однако по-настоящему локационный аппарат летучей мыши был исследован лишь нашими современниками после того, как в их распоряжении оказалась измерительная и регистрационная аппаратура, необходимая для постановки эксперимента с ультразвуковыми полями.

Особенно важным для повышения эффективности бионических исследований оказалось совершенствование методов математической статистики, формальной логики, теории игр и операций, теории информации, теории управляемого эксперимента, а также совершенствование технической базы бионических исследований и в первую очередь развитие микроэлектронной техники, разработка миниатюрных датчиков-преобразователей, технические достижения беспроводной биотелеметрии и, конечно, появление на вооружении биоников электронных вычислительных машин различного назначения.

Исследования, выполненные в последние годы ведущими коллективами в ряде передовых стран, подтвердили особую эффективность бионического подхода при решении прикладных инженерных задач в самых актуальных направлениях техники.

Для бионического подхода характерно исследование именно тех особенностей строения и функционирования живого организма, которые необходимы и достаточны для решения конкретных задач синтеза систем определенного назначения. Таким образом, современная бионика категорически отвергла принцип слепого копирования, некритического воспроизведения живой природы в технических аналогах и приняла метод функционального моделирования, базирующийся на требованиях изоморфизма технических систем их биологическим прототипам.

Например, те, кто пытаются решить задачу создания промышленных роботов не бионическим путем, не способны подняться выше задачи автоматизации станочных линий по жестким ограниченным программам. И наоборот, синтез интегральных роботов, способных собирать и анализировать информацию о внешней среде, а также принимать решения и управлять своим поведением в достаточно сложной реальной обстановке, вполне возможен и продуктивен на базе функционального моделирования сенсорных и эффекторных систем живого организма.

Блестящим примером тому является создание робота, предназначенного для сбора и передачи на землю визуальной информации о марсианском ландшафте; работа выполнена под руководством Л. Сутро и У. Калмера на базе модели нервной системы человека, разработанной У. Маккалоком¹.

Развитие бионической методологии пошло в последние годы по пути перехода от изучения элементов биологических систем к более сложным исследованиям их комбинаций, связей и взаимодействия.

Действительно, в последние годы перед бионикой возникли принципиально новые задачи по изучению свойств биологических объектов с целью их адекватного сопряжения с техническими устройствами в единые биотехнические системы.

Эта проблема была сформулирована нами как синтез биотехнических систем (БТС) и требовала разработки своей теоретической базы и специфической методологии².

Небезынтересно отметить, что о необходимости возникновения биотехнических систем писал еще в 1964 г. Норберт Винер:

... "В наше время мы остро нуждаемся в объективном изучении систем, включающих и биологические и механические элементы. К оценке возможностей этих систем нельзя подходить предвзято, т.е. с позиции механистического или антимеханистического толка. Я думаю, что такие исследования уже начались и что они позволят лучше понять проблемы автоматизации"³

¹ Sutro L., Kallmer W.L. Assembly Computers to Command and Control a Robot". Spring joint Computer Conf., May, 1969, Boston Mass.

² Ахутин В.М. Адаптивные системы "человек—машина". Материалы 1У Всесоюзной конференции по инженерной психологии и эргономике. Москва—Ярославль, 1974.
Ахутин В.М., Телехов И.В., Шендрик В.Ф., Шиф М.И. О методике согласования характеристик человека и машины при системном проектировании. Проблемы инженерной психологии. Вып. 1. М., 1971.

³ Норберт Винер. Творец и робот, Москва "Прогресс", 1986.

Действительно, в то время уже начались первые работы по созданию биотехнических систем на базе бионических исследований: биоуправляемые протезы руки и автоматизированные системы искусственного дыхания и кровообращения².

Биотехнические системы — это особый класс больших систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления².

Сегодня уже проведены первые работы, на основании результатов которых может быть сделан очень серьезный вывод в пользу биотехнических систем: в ряде случаев, особенно при необходимости анализа значительных объемов информации (например, при распознавании образов) и принятии решений в реальном масштабе времени, наиболее эффективными оказываются не полностью автоматические комплексы, а биотехнические системы, в которых сочетается искусственный интеллект машины с мозгом человека-оператора, т.е. системы со смешанным интеллектом.

С целью консолидации усилий при проведении бионических исследований стало необходимым из многообразия решаемых бионикой задач выделить главные, определяющие основные научные направления ее развития.

В качестве первого шага, направленного на решение этой задачи, ученые и специалисты стран — членов СЭВ разработали долгосрочный прогноз тенденций развития исследований по отдельным направлениям бионики исходя из требований научно-технического прогресса. На основании анализа прогноза и его дополнения в части постановки новых проблем, связанных с синтезом биотехнических систем, были сформулированы основные направления исследований в области бионики в соответствии с ее вышеприведенными задачами.

Одним из особо важных направлений в наши дни становятся бионические исследования, направленные на освоение природных ресурсов Мирового океана. Природные богатства в виде нефти, горючего газа, полезных ископаемых и продуктов питания, скрытые огромными толщами воды, требуют создания специальных технических систем и комплексов, приспособленных к новой, не свойственной для человека среде обитания.

Подводные работы, снабженные техническими сенсорными системами, различные обитаемые и необитаемые подводные аппараты в какой-то мере уже сегодня используют конструктивные и функциональные решения, отобранные в результате эволюционного развития отдельных видов живых обитателей морей и океанов.

Однако до сих пор остается открытым целый комплекс вопросов, связанных с созданием подводных сооружений — своеобразной подводной архитектуры, для обитания человека на континентальном шельфе, а также для складирования материалов и технических средств, необходимых при освоении отдельных районов Мирового океана. Это прерогатива архитектурной бионики, которая успешно развивается в наши дни в ряде ведущих стран усилиями энтузиастов этого научного направления.

Не случайно научно-координационное совещание по развитию бионики в странах-членах СЭВ в 1981 г. (г. Созопл, НРБ) записало в координационный план в качестве одного из важнейших направлений развития бионики разработку комплексной системы формирования среды обитания под водой на основе сборных конструкций бионического типа и архитектурно-бионических форм для длительного пребывания под водой с целью изучения энергетических минеральных ресурсов и создание комплексной системы жизнеобеспечения человека в сборных формированиях подводного типа.

Даже первое ознакомление с внешними очертаниями и формами живых организмов, населяющих подводный мир морей и океанов, позволяет отметить отсутствие правильных геометрических фигур и тел вращения, в то время как технические средства, применяемые для подводных работ, в основном представляют собой различные полые оболочки шарообразной или цилиндрической формы. Это ставит под сомнение адекватность существующих технических решений требованиям особенностей подводной среды применения.

Перспективность бионического подхода при создании подводных конструкций, и особенно при решении архитектурно-строительных задач, подтверждается такими свойствами живых организмов, как:

адаптивность формы и структуры к условиям обитания и возможность их трансформации при изменении состояния среды и целевой функции живой системы³;

1 Гурфикиель В.С., Малкин В.Б., Цетлин М.П., Шнейдер А.Ю. Биоэлектрическое управление. М., Наука, 1972.

Ахутин В.М., Колесов А.П., Матвеев А.П. и др. О текущей диагностике состояний и автоматическом управлении важнейшими параметрами физиологических систем организма с помощью радиоэлектронного комплекса. — Сб.: Кибернетика в клинической медицине. Изд. ВМОЛА им. С.М. Кирова. Л., 1964.

Бир С. Кибернетика и управление производством. М., Физматгиз, 1963.

3 Темнов В.Г., Лебедев Ю.С. Пространственные конструктивные системы бионического типа. Ленинградский дом научно-технической пропаганды, Л., 1980.

экономность в расходовании "живого строительного материала" при полной адекватности и гармонии формы, состава материала и конструкции опорно-двигательного аппарата;

многофункциональность конструктивных решений (например, плавники некоторых видов рыб сочетают функции движителя, руля и стабилизатора);

технология развития всех органов и систем в едином масштабе времени;

зависимость и ограниченность долговечности материалов и конструкций от предельного срока жизни данного живого организма;

широкая возможность к регенерации в случае аварийных ситуаций;

эстетическая адекватность подводному экстерьеру.

Естественно, что на пути дальнейшего развития бионики сегодня лежат значительные преграды, которые могут и должны быть преодолены совместными усилиями ученых различного профиля и инженеров совместно с организаторами науки и образования.

Наибольшие осложнения в постановку бионических исследований вносит сам объект изучения — живой организм.

В зависимости от иерархического уровня сложности биологическая система представляет собой совокупность взаимосвязанных систем автоматического регулирования, функциональная схема соединений которых обеспечивает организму необходимую устойчивость при воздействиях различных факторов внешней среды. Достижимые реализацией принципа дублирования и избыточности высокая надежность и широкая адаптивность организма в то же время чрезвычайно осложняют использование существующих в классической теории автоматического регулирования методов для изучения биологических объектов. Чтобы полностью оценить все затруднения, которые возникают на пути исследователя, необходимо добавить к уже сказанному; что биологическая система регулирования является нелинейной детерминированной, в то время как существующая теория автоматического регулирования представляет собой в основном теорию детерминированных линейных систем.

Необходимо добавить также, что при экспериментальном изучении процессов, протекающих в живом организме, мы сталкиваемся не только с трудностями методологического порядка, связанными с искусственной изоляцией изучаемой системы, ее линеаризацией и т.п., но вынуждены также решать весьма сложные технические — аппаратные задачи, обусловленные малостью сигналов, получаемых с различного рода датчиков-преобразователей, необходимостью их селектирования на фоне помех, носящих, как правило, случайный характер. Последнее обстоятельство приводит к необходимости использования специального математического аппарата теории статистических решений при обработке биологической информации.

В связи с тем что внешняя среда существенно влияет на поведение биологических систем регулирования, при постановке исследований необходимо уделять особое внимание нормализации и стандартизации внешних условий, т.е. созданию так называемой нулевой среды. Кроме того, внедрение любого постороннего предмета (например, электродов, датчиков и т.д.) вносит искажения в функционирование исследуемого объекта. Однако, несмотря на этот далеко не полный перечень особенностей биологических систем регулирования, существенно отличающих их от технических систем и усложняющих задачу их изучения, в настоящее время уже намечены пути постановки исследований, определены направления развития теории регулирования применительно к изучению биологических объектов, а также получены первые результаты их математического и физического моделирования.

Из сказанного следует, что основным методом бионики было и остается моделирование. Именно с помощью этого метода представляется возможным углубить наши знания об изучаемом биологическом объекте, решать конкретные прикладные задачи, направленные на создание инженерных конструкций и логических программ для ЭВМ, отражающих интеллектуальную деятельность. У нас нет возможности специально останавливаться на моделировании, что же касается архитектурно-бионического моделирования, то ему будет посвящена специальная глава. Остановимся здесь лишь вот на каком вопросе.

Уже первые попытки синтеза биотехнических систем привели нас к выводу о необходимости разработки и применения так называемых смешанных моделей, где система в детерминированной своей части и процесс управления воспроизводится с помощью математической модели (реализуемой обычно на аналоговой или цифровой ЭВМ), а биологический элемент исследуется в реальном виде будучи включенным в общий контур управления. Смешанные модели оказались особенно продуктивными при реализации метода поэтапного моделирования и воплотились в так называемые тренажно-моделирующие комплексы для решения задач синтеза систем "человек — машина".

При выборе метода моделирования и решении других задач архитектурной бионики представляется целесообразным относиться к архитектурно-строительным задачам и с позиции теории биотехнических систем. Действительно, так или иначе любое сооружение и человек — его обитатель могут рассматриваться как единая биотехническая система, в которой взаимодействуют живые и неживые элементы, объединенные общей целевой функцией.

Архитектор и строитель, выбирая то или иное решение для построения сооруже-

ния, например, батискафа для временного пребывания акванавтов или жилого дома, в котором будет жить семья, заранее должен прогнозировать, какое управляющее воздействие на состояние и поведение человека может оказать то или иное выбранное им решение. Таким образом, принцип адекватности, являющийся основным при сочленении живого организма с аппаратом искусственного дыхания и кровообращения в единую биотехническую систему, остается в силе и при проектировании конструкций и устройств, обеспечивающих оптимальные условия обитания человека с учетом возложенных на него профессиональных функций или условий для реабилитации и отдыха.

Естественно, что расширение задач бионики и развитие ее методов требует уточнения формулировки предмета бионики как науки.

На основании высказанных соображений представляется целесообразным считать, что предметом бионики является исследование структуры и функционирования биологических объектов различной сложности — от клеток до живых организмов и их популяций с целью создания новых более совершенных технических устройств и синтеза биотехнических комплексов, оптимально использующих свойства биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему целенаправленного поведения. Эта формулировка была одобрена и принята 1-й Международной конференцией "Бионика-75" (1975, Варна, НРБ).

В заключение еще раз необходимо отметить исключительную важность постоянного взаимного обмена всеми видами информации и в первую очередь регулярных и планомерных международных встреч ученых и специалистов, работающих в области бионики и, в частности, одного из ее перспективных разделов — архитектурной бионики, как по отдельным ее проблемам и направлениям, так и по принципиальным вопросам ее развития в системе смежных наук.

Сегодня со всеми основаниями мы можем отметить, что результатами объединенных усилий специалистов-биоников, наконец, сломан лед недоверия и скепсиса, и наша молодая наука, как корабль, очищенный от льда, выходит на чистую воду.

И хочется пожелать этому кораблю счастливого плавания!

В.М. Ахутин,
лауреат Ленинской премии,
доктор технических наук, профессор

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая книга является совместным трудом ученых ГДР, НРБ, СССР, СФРЮ, США, ФРГ и ЧССР.

ГДР представляет доктор технических наук, преподаватель архитектурно-строительного института в г. Веймаре Оскар Бюттнер. Он занимается обобщением и анализом исторического и современного опыта использования в архитектурном конструировании опыта живой природы и спецификой формирования в связи с этим тектонических систем. Его тема вошла в главу книги о конструктивно-тектонических системах.

НРБ представляет кандидат архитектуры, доцент архитектурного факультета Пловдивского политехнического института, главный архитектор Промпроекта Пловдива Матей Матеев. Его тема — общетеоретические вопросы бионики и ее место в структуре архитектуры.

СССР представляет группа ученых: Ю.А. Гоциридзе (канд. мед. наук), В.Ф. Жданов (геофизик), А.И. Лазарев (канд. архит., КиевЗНИИЭП), Ю.С. Лебедев (канд. архит. ЦНИИТИА), Е.Д. Положай (искусствовед, ЦНИИТИА), Д.Б. Пюрвеев (канд. искусствоведения, ЦНИИТИА), В.И. Рабинович (д-р философии), В.Г. Темнов (канд. техн. наук, ЛенЗНИИЭП). В работе над книгой также принял участие архит. М.А. Антонян (керамическая фабрика, г. Навои) Г.В. Брандт (инж.), С.Б. Вознесенский (канд. техн. наук).

Советскими учеными подготовлено свыше половины объема текста книги по следующим вопросам: общей теории архитектурной бионики, ее истории и методологии; гармонизации форм; вопросам конструирования (надежности и оптимизации систем); внедрения в практику трансформируемых архитектурно-конструктивных систем; по экологическим аспектам формирования жилой среды кочевых народов и др.

СФРЮ представляет главный архитектор Пловдива Андрей Мутнякович, посвятивший свою деятельность проблеме биоурбанизма. Им представлены по экологическим вопросам архитектурной бионики не только размышления о перспективах развития современных городов, но и разработки новых городов — результаты его участия в различных конкурсах национальных и международных.

США представляет архитектор Паоло Солери. Область его деятельности — проблемы экологии города. Он строит вместе со своими учениками собственными силами новый город в пустыне Аризоны — "Аркозанти". Государство не финансирует этот эксперимент. Деньги на его строительство П. Солери с учениками зарабатывает литьем очень интересных и разнообразных по композиции колоколов (может быть поэтому строительству города идет медленными шагами).

П. Солери особенно интересен своими проектами городов и архитектуры будущего, на осознание которых его вдохновляют формы живой природы.

ФРГ представляет доктор архитектуры, профессор Фрей Отто со своими сотрудниками. Биография Ф. Отто — это история развития биологических тенденций в архитектуре ФРГ; именно биологических, поскольку направление, им возглавляемое, называется биологическая архитектура, или биологическое строительство. Однако суть его от этого в целом не меняется. Ф. Отто принимает и архитектурную бионику. Фрей Отто — директор Института легких конструкций (ИЛ — IL) Штутгартского университета, в котором работают 14 человек. Нет сомнения в том, что школа Ф. Отто наиболее практически результативна в освоении законов живой природы в архитектуре. Ими были построены такие известные объекты, как павильон садоводства в Мангейме, Олимпийский стадион в Мюнхене (1975 г.), ряд объектов жилого и общественного назначения в ФРГ, Англии, Канаде, Аравийской пустыне.

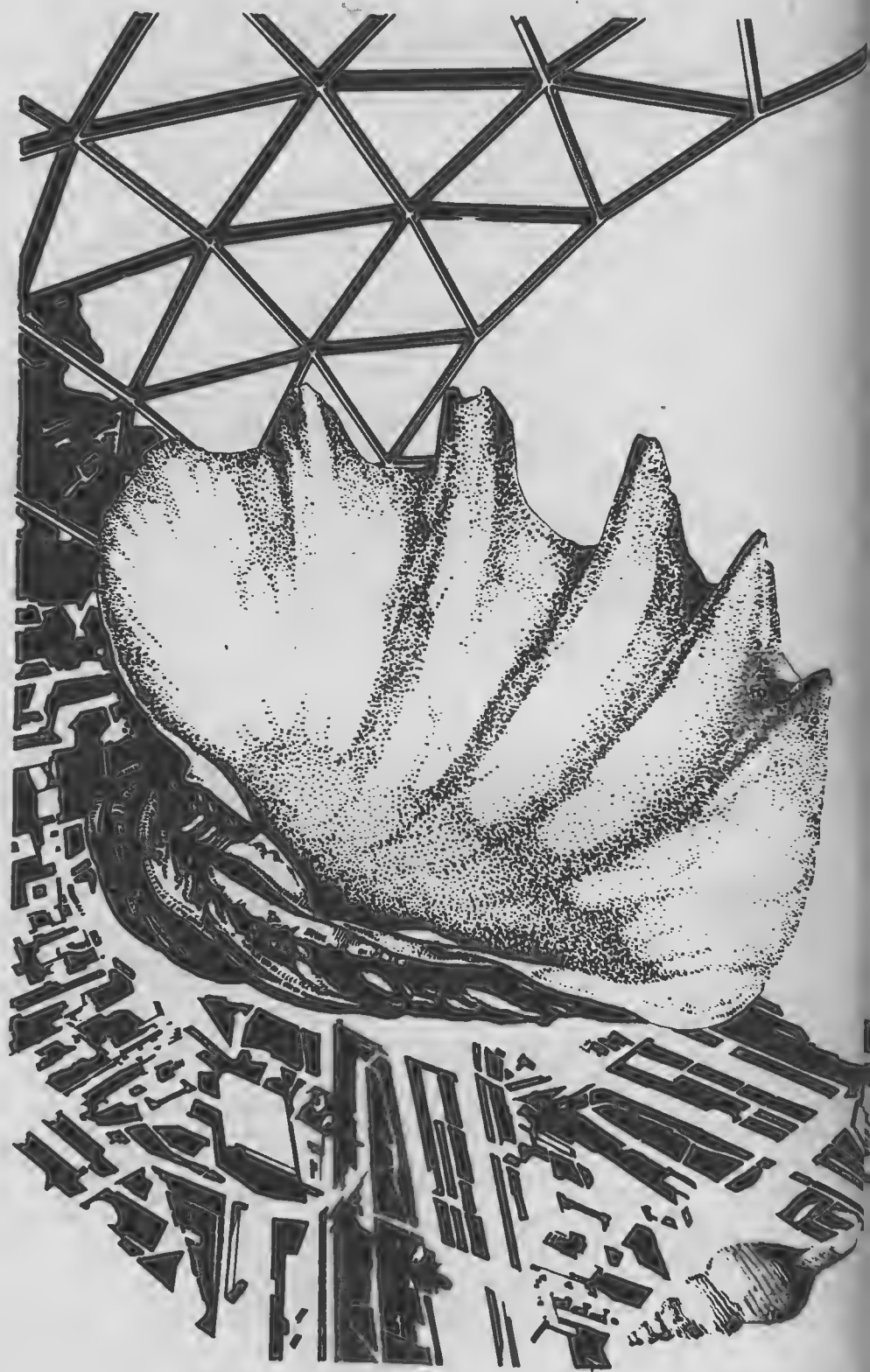
В связи с тем что школой Ф. Отто ведутся комплексные исследования законов формообразования живой природы, которые трудно оторвать от результатов их реализации в архитектурной практике, не говоря уже о том, что у них есть своя методология исследования, ей представлена в книге отдельная глава.

И, наконец, ЧССР представляет кандидат архитектуры, доцент архитектурного факультета Словацкого политехнического института (СПИ) Михаил Шарафин, возглавляющий архитектурно-бионическое направление.

На организованной Всероссийским обществом охраны природы и ЦНИИТИА в 1982 г. в Москве выставке "В гармонии с природой. Архитектурная бионика-82" были представлены также работы студентов архитектурного факультета Словацкого политехнического института (руководители Д. Майзлик, М. Шарафин).

Авторский коллектив весьма благодарен рецензентам программы и текста книги: проф., доктору архитектуры В.Е. Быкову, доктору искусствоведения Г.Б. Борисовскому, лауреату Государственной премии СССР А.П. Морозову и кандидату техн. наук М.М. Гаппову за оказанную в процессе рецензирования научную помощь.

Ю.С. Лебедев,
кандидат архитектуры



Глава 1

АРХИТЕКТУРА И ЖИВАЯ ПРИРОДА -НЕПРЕРЫВНЫЙ ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



логии, химии, физики, биохимии, биофизики), математический анализ и инженерный подход к решению задач. Бионика, таким образом, представляет собой науку, соединяющую научно-исследовательскую часть с одновременным исполнением практического замысла, не только выводящую законы, но и одновременно выражающую их в конкретной материальной форме. Бионика — наука в полном смысле созидательная, способствующая активному преобразованию природы и созданию новой, искусственной среды по подобию живой природы, но лишь в аспекте человеческих задач. Если, например, в естествознании морфология исследует формы живой природы, анатомия — внутреннее строение органов, биохимия — химические процессы, протекающие в живых организмах и т.д., то бионика занимается исследованием всех факторов, касающихся живых организмов, вместе взятых (с различной степенью детализации). Бионика в итоге направлена на создание готовых вещей — физических моделей природных прототипов. В этом ее созидательность.

Архитектурную и техническую бионику объединяет общность предмета исследования — использования тех или иных средств и принципов организации живой природы в материальном производстве, к сфере которого примыкает архитектура. У них много сходства, в том числе и в методах использования биосистем.

Однако архитектурная бионика в силу специфики ее цели имеет и свою бионическую сферу, т.е. свои объекты живой природы, и решает свойственные только ей проблемы. Поэтому мы можем рассматривать ее в какой-то мере как самостоятельное явление, сложившееся на базе исторической и современной практики архитектуры и находящее свое приложение в архитектурной науке. Ее предмет — исследование законов функционирования и формообразования объектов живой природы (биологических объектов) с целью применения их для совершенствования архитектурных решений, формирования комплексных архитектурных и градостроительных систем, гармонизации взаимосвязи архитектуры и природной среды¹.

Архитектурная бионика идет от изучения всей неисчерпаемой сокровищницы природных форм к определяемому социальными потребностями выбору подходящих из них, от выявления чисто бионических принципов и их моделирования к комплексной архитектурно-биологической интерпретации и скорректированному архитектурному моделированию, а от них к творческому развитию архитектурно-бионической практики.

Необходимо различать теорию и практику архитектурной бионики, так как вторая по самым различным причинам не всегда соответствует тем идеальным критериям, которые разрабатываются в теоретическом аспекте.

Живая природа перестает быть загадочным феноменом. Одно из основных обобщений современной биологии состоит в том, что все явления жизни подчиняются законам физики и химии и могут быть объяснены с помощью этих законов на самых различных уровнях: молекулярном, при образовании кристаллов, формировании механических (конструктивных) тканей и опорных скелетов, общей системы форм и экологических связей. Живая природа и архитектура развиваются в одних и тех же биофизических условиях земной и космической сферы и подчиняются законам гравитации, инерции, термодинамики. Их формы обуславливаются сходным действием температурно-влажностных факторов, режимом инсоляции, цикличностью метеорологических явлений и т.д. Строительная деятельность живых организмов так же, как и в архитектуре, связана с созданием строительных материалов и определенным порядком (технологией) производства работ.

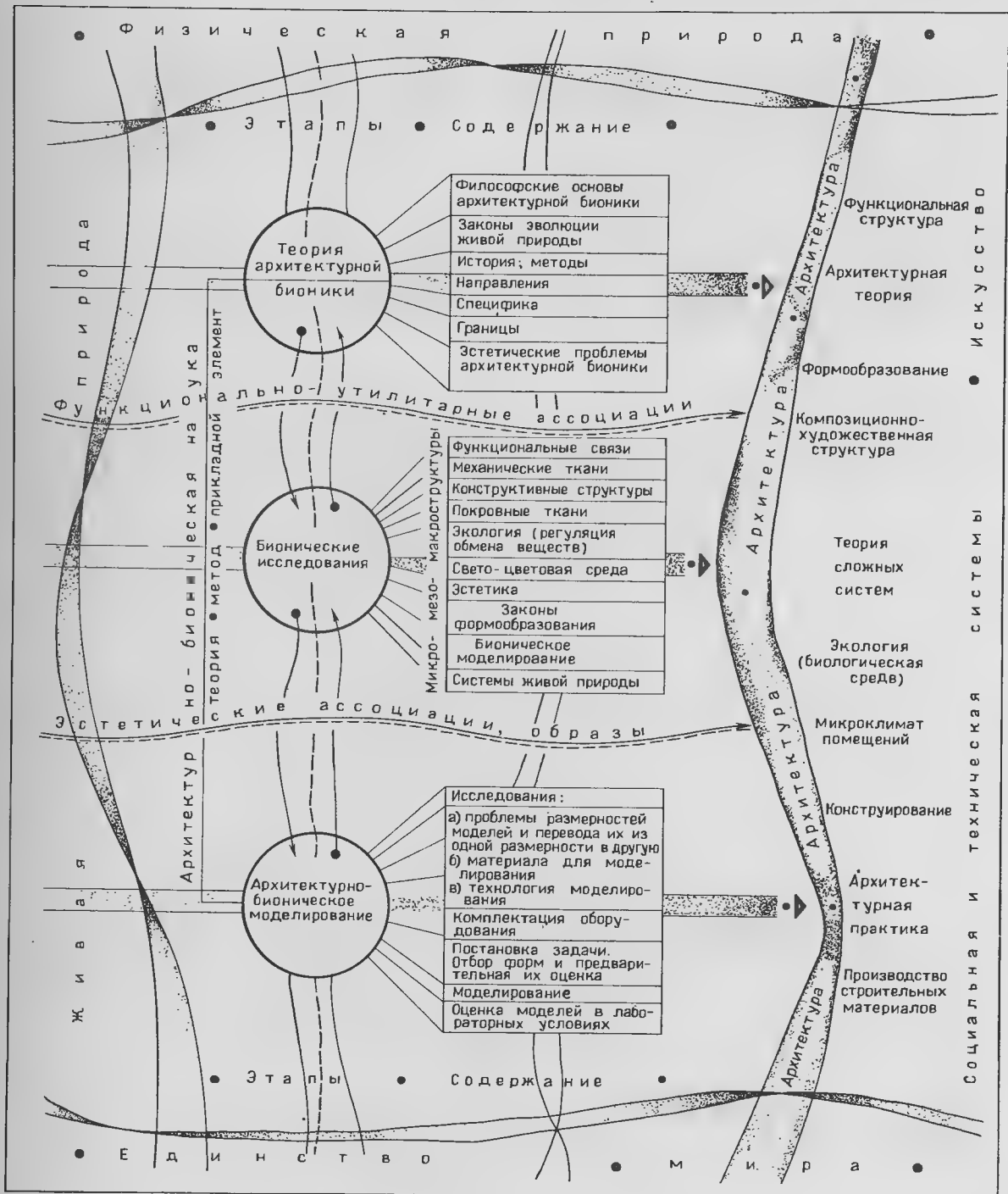
Архитектура, ставшая в процессе своего развития большим общественным явлением, нацелена вместе с тем на удовлетворение не только общественных, но и биологических потребностей человека. И здесь через изучение биологической организации человека архитектура получает особые импульсы формообразования, значение которых повышается в условиях научно-технической революции, роста требований к экономии общественной энергии и интенсификации человеческого труда.

Опыт мировой архитектуры последних трех десятилетий подтверждает, что архитектурная бионика способна решать самые разнообразные вопросы архитектуры как в их отдельной интерпретации, так и в комплексе (рис.3). Сюда относятся: уточнение общетеоретических вопросов архитектуры, касающихся принципиальных сторон ее развития; совершенствование теории систем; дальнейшие направления дифференциации функциональной структуры архитектурных форм и архитектурного пространства; углубление композиционных приемов — тектоники, пропорций, равновесности, симметрии, ритмов, света, цвета и т.д.; решение проблемы создания благоприятного микроклимата в зданиях и в других архитектурных образованиях; рационализация существующих конструкций и внедрение новых конструктивных форм; развитие индустриализации производства на основе унификации, стандартизации и сборности архитектурно-конструктивных элементов; создание строительных материалов с новыми эффективными комплексными конструктивными и теплоизолирующими свойствами; дальнейшая разработка технологии производства конструкций и организации производства возведения зданий; совершенствование методики экспериментального конструирования на физических моделях и др.

Таким образом, результаты исследований, проводимых в области архитектурной бионики, оказываются полезными при решении проблем социального и эстетического совершенствования архитектуры в самых ее различных типологических отраслях: в жилых комплексах, в общественных и промышленных зданиях и сооружениях; в градостроительстве. Конечно, все это не означает, что она в состоянии решить все эти вопросы до конца. Нет, она не подменяет и не исключает существующие методы и лишь готова помочь их дальнейшему прогрессу. Вместе с тем в отдельных областях она может оказать революционизирующее воздействие.

Рис. 3. Структура архитектурной бионики (схема Ю.С. Лебедева)

¹ Понятия "биологический объект", часто используемый в технической бионике, и "живая природа" имеют примерно равный смысл. Однако есть некоторые оттенки этих понятий. Понятие "живая природа" говорит непосредственно о специфике живого, как особого явления в космосе и биосфере. Вместе с тем известно, что в живой природе имеются и "неживые" элементы, например окостеневшие панцири моллюсков, твердые, склеренхимные ткани растений, костные образования животных. В живой природе происходят не только биологические, но физические и химические процессы. Понятие "биологический объект" конкретизирует понятие "живая природа". Поэтому часто вместо терминов "живая природа", "живой организм", "объекты живой природы" употребляется термин "биологический объект". В данном труде во избежание незолости применения лишь одного термина употребляются в одинаковом смысле различные варианты этих понятий. Заметим также, что о понятии живого до сих пор идут горячие дискуссии.



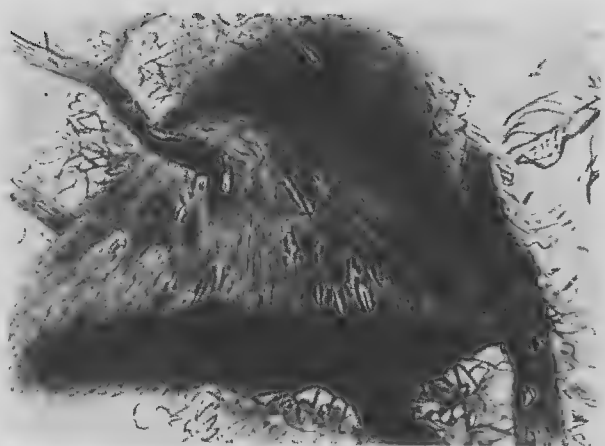
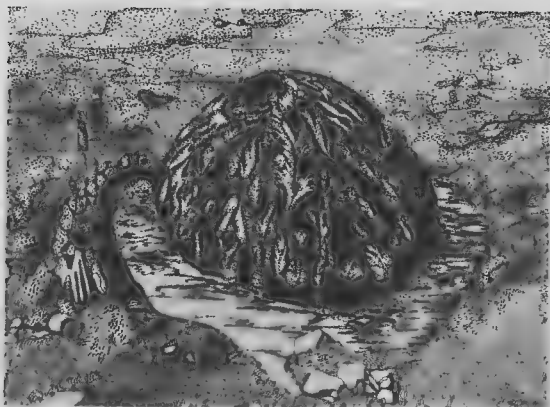
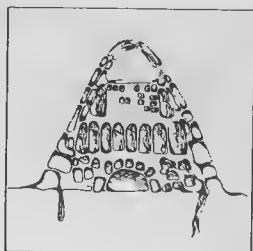


Рис. 4. Хижина южноамериканских индейцев и термитник (рис. А. Лебедева); гнездо птицы ткач; глинобитный дом африканца



Архитектурная бионика, следовательно, приобретает большое значение в дальнейшем развитии не только практики, но и архитектурной науки.

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ БИОНИКИ

Интересно проследить, как складывались исторические предпосылки формирования теории и практики архитектурной бионики, подтверждающие ее правомерность, неизбежность развития и одновременно проливающие свет на становление тех ее направлений, которые получили развитие в наше время.

На всем протяжении истории человек в своей архитектурно-строительной деятельности сознательно или интуитивно обращался к живой природе, которая помогала ему решать самые различные проблемы.

Еще крупнейший греческий философ материалист Демокрит (около 460–370 гг. до н.э.) писал: "От животных мы путем подражания научились важнейшим делам (а именно, ученики) паука (подражая ему) в ткацком и портняжных ремеслах, мы ученики ласточки в построении жилищ..." [6].

Конечно, не с подражания начал человек. Вероятнее всего, можно говорить об органически присущих ему формах трудовой строительной деятельности. Человек, как известно, постепенно развивался от древнейших приматов млекопитающих к состоянию "гомо сапиенс". Но, по-видимому, постепенное удаление человека во времени от своих животных предков, самостоятельное развитие человеческой ветви, формирование деятельности по принципу "я сам" сгладили органическую непосредственность животного происхождения и перевели ее на уровень более или менее осмысленного подражания живой природе, строительной деятельности живых организмов.



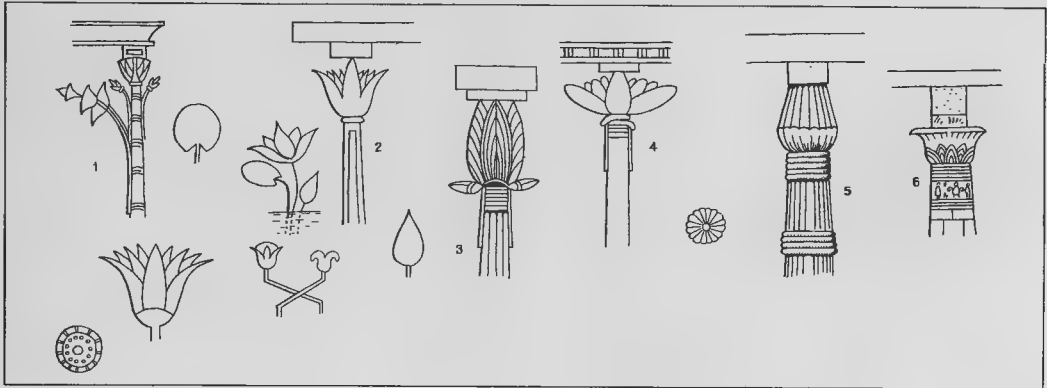


Рис. 5. Оформление капителей колонн храмов Древнего Египта по аналогии с формами цветов лотоса и папируса: от акцентирования внимания на декоративной стороне (1–4) до тектонического освоения (5–6)

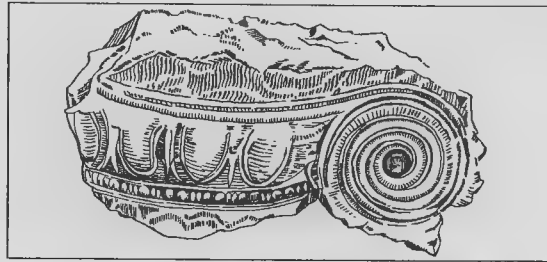


Рис. 6. Тектонический строй колонн храмов античной Греции (рис. Ю. Лебедева)
а — фрагмент капители ионической колонны (храм Артемиды в Эфесе, нач. V в. до н.э.); б — коринфская капитель храма Аполлона в Бассах (V в. до н.э.). Реставрация (по Штакельбергу)



Рис. 7. Образно-художественные приемы формообрезования в русских храмах: храм Покрове на рву (храм Василия Блаженного), Москва, XVI в. Зодчие Барма и Постников



Рис. 8. Образное представление пространства живой природы в интерьере готического собора: собор в Амьене (Франция) и аллея в лесу (фото Ю. Лебедева)

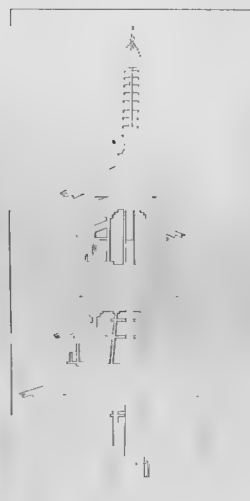


Рис. 9. Единство форм архитектуры и окружающей природы. Саввино-Сторожевский монастырь вблизи Звенигорода под Москвой (XV–XVII вв.) (фото Ю. Лебедева)

Рис. 10. Японская народная архитектура. Разрез здания, напоминающего ель

Рис. 11. Ярославский вокзал в Москве (нач. XX в.): Архит. Ф.О. Шехтель (фото Л.В. Кучинского)

Рис. 13. Радиотелевизионная башня в Москве, 1922 г. Инж. В.Г. Шухов. Общий вид и вид изнутри (фото Л.В. Кучинского)



Этот процесс использования законов формообразования живой природы менял свой характер и границы в зависимости от объективных и субъективных факторов.

Можно выделить три хронологических этапа, предшествующих современному и соответствующих изменениям по существу этого процесса.

Первый этап — наиболее древний, уходящий в глубь истории можно считать этапом стихийного использования конструктивных и функционально-пространственных средств живой природы и результатов "строительной" деятельности животных, птиц и насекомых в создании убежищ-гнезд, шалашей (рис.4), дольменов или "общественных сооружений", каковыми могли быть

менгиры, кромлехи и т.д. Насколько здесь заимствованные из природы формы осмысливались эстетически, трудно сказать. Несомненно лишь одно: они были, прежде всего функциональными (на своем уровне и в своем роде). Вместе с функцией в искусственные сооружения механически привносилась и природная форма, поэтому многие древние человеческие сооружения — гнезда, шалашы и т.п. — часто трудно отличить от построек каких-либо животных или насекомых, например термитов (рис. 4).

Второй этап — от начала формирования архитектуры как искусства и примерно до середины XIX в. Несмотря на большую протяженность этого периода по времени, все его возможные промежуточные ступени объеди-

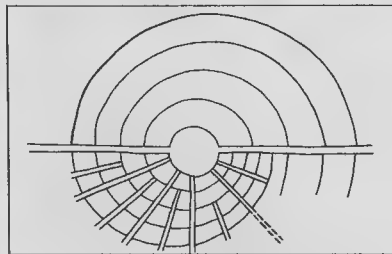
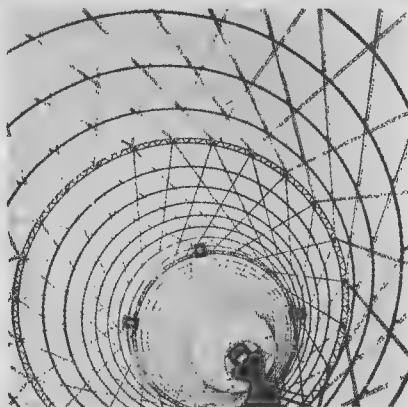


Рис. 12. Город, развивающийся по спирали. Предложение архит. Т. Фрича (Англия, 1896)

нены одной основой — принципом подражания природе. Это означало главным образом использование форм природы с изобразительно-декоративными целями и копирование внешних форм природы. Примером могут служить колонны египетских храмов в Луксоре и Карнаке; коринфские и ионические капители колонн греческих храмов; палаццо Ренессанса и дворцы классицизма; образно-художественные приемы формообразования в русских храмах; капители колонн и весь их строй как подражание мотиву леса в готических соборах; народная японская архитектура и т.д. (рис. 5 — 10).

Говоря об этом периоде, нельзя отрицать также и интерпретацию некоторых конструктивно-тектонических принципов живой природы. Например, тектоника колонн с периодичностью ее диаметров по высоте интерпретирует тектонику ствола дерева; каннелюры колонн подобны встречающимся каннелированным стеблям растений, придающим им дополнительную прочность. Логика перехода одной формы в другую в конструктивных узлах ордеров греческих храмов повторяет, по существу, принципы изменения форм по вертикали стебля растения, ствола дерева, скелетов животных; нервы, покрывающие готических храмов выполняют ту же конструктивную функцию, что и нерватура (прожилки) зеленого листа дерева и т.д.

Природная тектоника в архитектурных формах присутствует не всегда стихийно, доказательством чему служат высказывания Витрувия, Альберти, Палладио и др. Но высказываемые мысли, касающиеся конструктивных решений, в большинстве своем из-за ограниченности технических возможностей не могли быть претворены в жизнь. Проще было сделать из камня или глины форму, подобную природной, с художественными целями, чем создать конструктивную систему, подобную природной.

Третий этап — конец XIX — начало XX в., нашедший свое выражение в архитектуре "модерн" (рис. 11). На этом этапе природные принципы одновременно, хотя и в разной степени, проявились в функционально-структурных, конструктивных и декоративных решениях.

Большое влияние на использование средств природы на этом этапе оказали бурное развитие биологии и небывалые успехи строительной техники (например, изобретение железобетона и начало интенсивного применения металлических конструкций, керамики и т.д.).

Именно в архитектуре модерн, как показали последние исследования русского модерна, проведенные советскими специалистами [7], получило начало функционально-структурное развитие архитектурных форм по принципу приспособляемости к функционально усложняющимся задачам архитектуры и окружающей среды. Именно модерн открыл путь к самым различным интерпретациям архитектурных форм, не связанным какой-либо установившейся жесткой системой, подобной классической. Здесь также вольно или невольно воплотился природный принцип многообразия форм при их "стилевом" единстве. Именно в модерне нашли свое применение новые пространственные конструкции, напоминающие природные. И наконец, использование биоформ с декоративными целями, что, к сожалению, послужило в свое время основой для несправедливого отношения модерна многими теоретиками, не разобравшимися в самой его сути, к декоративному, графическому, эклектичному стилю (правда, и мы далеки от мысли отрицать наличие черт эклектичности модерна, определяемых специфическими социальными условиями его

развития, но их не надо преувеличивать и закрывать глаза на то новое, что было в модерне). Следует отметить, что традиционная декоративность в использовании форм живой природы здесь стала отражением не только ее внешних форм, но и микроструктур (например, клеточного строения организмов) и неизвестных до тех пор, например, водных микроорганизмов, что было связано с новыми открытиями в биологии.

Достижения биологии XIX—начала XX в., комплексные, системные принципы развития живой природы нашли отражение и в такой широкой области деятельности, как градостроительство. Мы подразумеваем попытку практического претворения в жизнь теории "города-сада" Э. Говарда в Англии, Германии, России и т.д. Рост индустриальных городов заставил задуматься над проблемой экономии городских территорий, планомерного их формирования, поисков мер, предотвращающих хаос, над решением вопросов транспорта, размещения общественных центров и т.д. И здесь также не обошлось без попыток обращения к живой природе. В конце XIX—начале XX в. было сделано много подобных предложений: Т. Фрич — город, развивающийся подобно раковине моллюска по спирали, 1896 г.; проекты Сант Элиа, Э. Гледена и др. (рис. 12).

Достижения в области биологии строительной техники конца XIX — начала XX в. были эффективно использованы с самого начала развития советской архитектуры. Особый интерес в этом плане представляют работы русского, советского инженера, академика В.Г. Шухова (рис. 13).

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ВЗГЛЯДОВ В ВОПРОСЕ СВЯЗИ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ И ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Развитие теоретических взглядов в интересующей нас области целесообразно рассмотреть отдельно, так как они или не поддерживались практикой или не совпадали с ней во времени. Кроме того, теория архитектурной бионики формировалась не только на основе архитектурного источника, но и таких, как искусствоведение, разработок инженерно-биологических (обращение инженеров-строителей к живой природе) и био-инженерных (обращение биологов к строительной технике). Поэтому целесообразно наряду с "архитектурно-биологическими" концепциями рассмотреть и эти направления, ориентированные на использование законов формообразования живой природы в строительной технике и в искусстве.

Выше приводилось высказывание Демокрита о подражании человека строительным формам живой природы. Еще ранее древнегреческий драматург Эсхил в трагедии "Прикованный Прометей" писал:

Раньше люди смотрели и не видели,
И слушая, не слышали.
В каких-то грезах они
Влачили жизнь свою.
Не знали древоделия.
Не строили жилищ из кирпича.
Ютились в глубине пещер подземных,
Бессолнечных, подобно муравьям.

Это высказывание, как и другие в ранний период развития философии, не идут дальше простейших сравнений. Но интересно то, что аналогии строения и живых структурных форм — построек животных — еще в ту отдаленную эпоху затрагивали мысли людей.

В те античные времена функциональная связь архитектуры с природой находит отражение и в теоретических работах архитекторов. Так, римский архитектор Марк Поллион Витрувий в трактате "Десять книг об архитектуре" (I в. до н.э.) посвятил много страниц воп-

росу необходимости исследования архитекторами живой природы, причем с позиций изучения ее по существу [8]. Говоря о связи архитектуры с климатом, Витрувий призывает не просто учитывать те или иные климатические условия, в которых будет вестись строительство, а предлагает исследовать средства приспособления организмов, обитающих в данной местности, и изменение их в соответствии с изменением условий, обнаруживая таким образом функциональный подход к использованию природных законов в архитектуре.

По своим воззрениям Витрувий был последовательным сторонником и прямым наследником стихийно-материалистических положений Фалеса, Гераклита, Демокрита, Эпикура и Лукреция. Но в конкретном вопросе — пропорционировании храмов он становился на формалистическую и догматическую точку зрения, советуя без учета специфических потребностей архитектуры переносить в нее пропорции человеческого тела. В результате возникал беспредметный, схоластический спор о том, какое модульное число лучше — десять или шесть.

В отношении заимствования природных законов в архитектуре более твердую и определенную позицию занимает другой теоретик архитектуры, родившийся 15 столетий спустя после Витрувия, но за основу своих теоретических исследований взявший его труд. Мы имеем в виду Леона Баттиста Альберти (1404—1472), которому принадлежит известное высказывание, предвосхитившее идею "бионической архитектуры": "Наиболее ученые древние убеждают нас, ... что здание есть как бы живое существо, создавая которое следует подрезать природе" [9].

Характеризуя достижения архитектуры Греции, Альберти не сомневался в том, что красота ее форм во многом была достигнута благодаря использованию форм и законов природы. Говоря о путях развития итальянской архитектуры, он также был уверен, что ее успех может быть связан с тесным взаимодействием с природой. При этом он подразумевал под этим взаимодействием синтез архитектуры и природы, в основе которого лежали существенные связи, а не внешние аналогии. О греческой архитектуре он пишет: "Она начала почерпать и извлекать из недр природы все искусства, в том числе и зодческое, и старалась и стремилась это искусство усвоить проникательным разумением. В чем разница между зданиями, которые нравятся, и теми, которые не нравятся вовсе, она ничего из этого в своих изысканиях не забыла. Все она испробовала, превращаясь и усердывая по стопам природы. Сочетая равное с равным, прямое с изогнутым, явное с более скрытым, она заметила, что от этого, как от брака мужчины и женщины, происходит нечто третье, много обещающее для предпринятого дела".

Альберти, ссылаясь на живую природу, не отделяет в архитектуре функцию от красоты формы. Он пишет дальше: "Италия по присущей ей бережливости сначала решила, что в здании все должно быть не иначе, чем в живом существе. Ибо, например, в лошади она видела, что это животное наиболее пригодно для тех именно целей, за которые хвалит форму его членов, и оттого считала, что прелесть формы никогда не бывает отделена или отчуждена от требуемой пользы".

Интересно, что Альберти обращает внимание также на конструктивные аналогии в архитектуре и в живом мире. Продолжая все тот же разговор о греках, он пишет: "Кости здания, то есть колонны, углы и тому подобное, они, следуя природе, делали в четном числе".

Альберти вслед за Витрувием много говорит о соразмерностях человеческого тела, а также других представителей живой природы и о подражании в пропорциях и членениях архитектуры природе. Но он делает это не так прямолинейно, как Витрувий, и пытается соразмерности (числа) обосновать функционально, хотя и не избегает при этом отвлеченности в характере своих рассуждений.

Итальянский зодчий Андреа Палладио (1508—1580) в своей теоретической работе "Четыре книги об архитектуре" [10], вышедшей в свет в 1570 г., не так часто по сравнению с Витрувием и особенно с Альберти обращается к аналогии архитектуры с природой, но несколько

высказываний достаточно ясно выражают его отношение к этому вопросу.

В гл. XX книги первой "О нарушениях правил" (с. 61) он пишет: "Будучи (подобно другим искусствам) подражательницей природы, архитектура не терпит, чтобы какая-нибудь ее часть была чужда природе и далека от того, что свойственно природе. Поэтому мы видим, что древние архитекторы, строившие из камня здания, до того строившиеся из дерева, делали колонны вверху менее толстыми, чем у основания, беря пример у деревьев, всегда более тонких в вершине, чем по стволу или у корней. Подобно этому, в подражание предметам, которые сплюсываются от положенной на них большой тяжести, они устроили под колоннами базы, кажущиеся благодаря своим валикам и выкружкам сплюснутыми от тяжести; точно так же они ввели в карнизы тригифы, модильоны и зубцы, представляющие торцы балок, которые служат для поддержки крыши. Все это, если внимательно подумать, окажется верным и для всякой другой части, в силу чего нельзя не порицать тех приемов постройки, в которых архитектор, отклоняясь от указаний природы и от простоты, присущей всякому ее творению, как бы создает другую природу и уходит от истинного, хорошего и прекрасного способа постройки".

Как видно из сказанного, Палладио представляет себе природные и архитектурные формы тектонически, в единстве формы и выполняемой ею механической работы. В этом случае он выступает как трезвый мыслитель, продолжатель линии Витрувия—Альберти.

Не останавливаясь подробно на других, позднейших теоретических трудах об архитектуре и ее органической связи с законами природы, заметим, однако, что редкая работа по архитектуре не касалась этого вопроса.

Но нельзя при этом пройти мимо интересных высказываний нашего соотечественника — русского теоретика архитектуры XVIII в., ближайшего соратника В.И. Баженова и друга А.Н. Радищева "архитектуры помощника" Ф.В. Каржавина¹, развившего материалистические традиции Витрувия, Альберти и К. Перро.

В глубоком и простом определении архитектуры Ф.В. Каржавин соединяет воедино ее материальную и духовную сущность, одновременно подчеркивая и ее развитие по естественным законам.

"Архитектуре, что за вещь?" — спрашивает он и отвечает: "она есть строение естественное и художественное. Только ли та одна, что в книгах на бумаге видим? Никак, благоразумные Читатели! Очевидно обо всем, есть не только в городах, но и в селах, где она есть художественная и простая" [11].

И если здесь под словом "естественное" понимается не только естественное происхождение архитектуры, но и материальное (функциональное) назначение ее, то далее Ф.В. Каржавин, дифференцируя это понятие, проводит прямую аналогию с "естественной" архитектурой.

В изданном Ф.В. Каржавиным в 1808 г. в Москве труде "Краткий словарь важнейших Архитектурных терминов в книге "Новый Виньола или начальные основания Гражданской архитектуры" на с. 2В читаем: "Волюта ... она походит на бересту, загнутую или завитую наподобие улитки".

"Евритмия — значит в Архитектуре согласие или симметрия всех частей целого. Примером может служить состав тела человеческого".

Как мы уже говорили, новые достижения строительной техники в середине XIX в. привели к переоценке ее роли и места в архитектуре и вызвали к жизни новые архитектурные формы. Одновременно в конце XIX — начале XX в. вместе с развитием естественно-научных знаний появляется интерес и к структурным формам живой природы.

¹ Высокое место Ф.В. Каржавина в русской истории как революционного просветителя, философа-материалиста, архитекторе-теоретика впервые полно освещено в работах доктора философии В.И. Рабиновича (например, "Революционный просветитель Ф.В. Каржавин". М., Просвещение, 1966; "С гишпанцами в Новый Йорк и Гавану". М., Мысль, 1967 и др.).

Русская архитектура XIX — начала XX в. формировалась в условиях не только подъема строительной техники, значительных для того времени успехов в области науки, но и важных социальных преобразований (формирование капиталистических отношений).

Социальные процессы, их дифференциация, появление новых общественных форм жизни, демократические веяния в общем потоке исторических событий "конструировали" архитектуру более сложной по функциональной структуре, чем предыдущая, как в отдельных объектах, так и во всей ее системе. Именно это усложнение и дифференциация функциональной структуры, ее быстрое "размножение" подобно клеткам живой материи, опасность превращения "размножения" в неуправляемую цепную реакцию породили художественную концепцию целостной архитектуры, в которой отразилось единство дифференциации и интеграции форм.

Материал для размышления на тему о формировании сложных систем и усвоения понятий "целостности", "структурности", "органического целого", "организации" поставляли быстро развивающиеся естественные науки и прежде всего биология — теория эволюции Ч. Дарвина, работы К.А. Тимирязева и других, также философские науки.

В России в архитектурной теории вопросы аналогий в принципах формирования архитектуры и живой природы, проблемы их координации, целостного развития архитектуры поднимались не раз. Так, об этом неоднократно писали историки и литераторы — Н. Карамзин, А. Писарев, А. Галич, Н. Надеждин (примерно в период конца XVIII — начала XIX в.). В конце XIX — начале XX в. к ним обращались П. Сюзор, Б. Николаев, А. Алексеев и др.

Русские мыслители связывали с использованием принципов построения форм и организации живой природы в архитектуре решение довольно широкого круга вопросов — проблем национального и народного в архитектуре, выражения патриотизма и вместе с тем повышения функциональной целесообразности архитектуры, обогащения и гармонизации ее форм, вопросов экономики и рационализации техники, идеалов искусства, зодчества и др. Однако какой-либо последовательной стройной "органической" теории создано не было.

Нельзя приуменьшать и значение пробуждения мыслей о взаимосвязи архитектуры и живой природы, направленных на достижение в архитектуре целостности, единства функции и формы, гармоний искусства архитектуры и техники. Эти мысли часто были весьма остры и принципиальны и порождали бурные споры. Укажем на один любопытный документ, относящийся к этому же периоду и взятый нами из русского журнала "Вестник архитектуры, домовладения и санитарного зодчества" (1900, № 7,8). Статья озаглавлена "Теория Дарвина в строительном искусстве" (с. 255—258).

Без преувеличения можно сказать, что автор этой статьи, истинное имя которого скрыто от нас под инициалами "Гр. Ю.П.", четко ставит архитектурно-бионическую проблему и подтверждает закономерность действия эволюционной теории Дарвина в архитектуре¹. Он обобщает мысли немецких и австрийских архитекторов Г. Земпера, Х. Бауера и Ф. Фельдегга, высказывающих различные точки зрения на применение эволюционной теории Дарвина в искусстве, зодчестве, и приходит к выводу о возможности действия естественного закона эволюции в строительном искусстве.

В теории советской архитектуры также неоднократно поднимался вопрос использования законов формообразования живой природы. И.В. Жолтовский, не отрица-

ющий возможности такого использования, писал: "... великие мастера прошлого создавали свои произведения и гармоничные художественные образы на основе глубокого изучения окружающей природы, наблюдая целый ряд наглядных природных закономерностей, которые именно благодаря своей наглядности могут быть осмыслены как закономерности эстетические. Изучая законы построения завитка ракушки или размещения ветвей на дереве, изучая законы живого органического роста в природе, зодчий создает свой собственный архитектурный язык, обеспечивающий живую органическую выразительность художественного обреза"[33].

В практике И.В. Жолтовского его потенциально-бионические принципы проявлялись очень ограниченно и скорее в абстрагированно-математическом (золотое сечение и его функции) и философском аспектах, т.е. именно не "бионически".

Необходимо здесь же сказать об имеющем место в теории искусства исследованиях (связанных также с архитектурой) в области эстетических закономерностей формообразования живой природы. Исследования Д. Хембиджа, М. Гика, Ф.М. Лундта, Т. Кука, А. Цейзинга и других дают богатый фактический материал для бионики, но по своему характеру они не бионичны, так как не связывают закономерности внешней формы живых организмов с их функцией. И сам метод механического перенесения эстетических закономерностей живой природы в архитектуру без учета ее функциональных требований и без установления функциональной связи между архитектурой и живой природой также не соответствует полностью архитектурно-бионическим принципам. Нужно здесь же отметить объективный подход к изучению пропорций в живой природе советского архитектора С.С. Карпова.

ФОРМИРОВАНИЕ "ТЕОРИИ" ОРГАНИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Особое место в развитии формообразующей связи архитектуры и живой природы занимает теория органической архитектуры.

Из всей истории формирования идей органической архитектуры будут рассмотрены только наиболее яркие вехи, касающиеся творчества отдельных мастеров, теоретиков и ряда направлений, дающие далеко не полное представление об этапах эволюции органического мышления в архитектуре.

Необычайный расцвет биологической науки в XIX в. ознаменовался рядом открытий и обобщений, которые подорвали старые воззрения на природу, существенно изменили представления в отдельных отраслях знаний, оказав воздействие на образ мышления естествоиспытателей, философов, художников, архитекторов. О влиянии биологии на архитектуру свидетельствует сам факт введения в архитектуру множества биологических концепций и терминов, в том числе определения "органическая". Существовавшие ранее определения "живая" (*vital*) или "рожденная" (*innata*), а не искусственно созданная говорили о той степени совершенства, которая превосходила общее представление о человеческом мастерстве и относилась архитектурный объект к творениям природы.

Понятие "органическая архитектура" возникло как антипатия эклектической архитектуре. Первая соотносилась со второй, как живая природа с неживой. Во введении понятия органической архитектуры нетрудно уловить аналогию тому этапу биологической проблемы определения сущности живого, когда появилось деление на органические и неорганические вещества и когда понятие "органические вещества" связывалось в науке с живыми организмами (1807 г., работы шведского химика Берцелиуса). Термин "органическая", связанный в биологии с проблематикой выявления сущности органической и неорганической природы, стал выражать новую направленность архитектуры, впитывающей в себя науч-

¹ По мнению известного исследователя русской архитектуры П.Н. Максимова, это инициалы известного русского архитектора того времени графа П. Сюзора.

ные, технические и эстетические идеалы века.

В это время поиск "живого" искусства, "живой" архитектуры нашел яркое воплощение в романтизме. Романтики возвели в культ природу. Истинность бытия в природе и эмоциональное переживание общения с ней они противопоставили искусственности, учтивой холодности всех вариаций классического искусства, нетронутую природу предпочли формализму классических садов и парков.

Романтики с энтузиазмом следили за путешествиями биологов в дальние страны, их волновала не нарушенная цивилизацией гармония людей с природой.

Идеал романтизма лучше всего отразился в пейзажной живописи, родившейся в первой четверти прошлого века как самостоятельный жанр и ставшей на долгое время господствующим видом искусства. Пейзажи Констебла, Тернера, Коро, французской барбизонской школы, английских прерафаэлитов, реалистов Курбе, Домье, Милле, импрессионистов Моне, Дега, Сезанна в противоположность историческим пейзажам неоклассицизма, идиллическим условным пейзажам старого академизма стали рассматриваться как сюжеты в самих себе, как "главные действующие лица": "Новая живопись обратилась к пейзажу, отставила жанр пейзажа, как путь, подводящий к наилучшему выражению нового восприятия" [12].

И Констебл тщательно следил за естественно-научными успехами своего времени. Живопись он определял как науку, которая должна заниматься исследованием законов природы, а пейзаж рассматривал как отрасль естествознания, опытами которой являются картины. Его научное познание проявилось в глубоко реалистическом описании природных объектов.

Барбизонская школа во главе с Т. Руссо и прерафаэлиты Д. Росетти, Г. Гент, Д. Миллес продолжают линию Констебла, доходя до крайнего натурализма. Они стремились списать с природы все до едва заметной жилки в листке; как географы они изучали топографию; как геологи — строение почвы; как ботаники — физиологию растений, надеясь открыть первооснову жизнетворящих сил природы, скрытых за внешними контурами формы.

В отличие от почти научного реализма Констебла Тернер и его последователи Коро и Джонгкинг склонны к необычному, исключительному, эффектному. Они реагируют на самые мимолетные изменения атмосферы и света, их называют увертюрой к будущим импрессионистам.

Важно отметить, что зоологи и ботаники чрезвычайно ценили опыт писателей, художников, архитекторов в познании природы, приобретенный посредством наблюдений, интуиции и эмоций. Это подтверждает случай перевода с обширными комментариями великим русским ученым К.А. Тимирязевым первой книги о Тернере. В большом предисловии он писал:

"Почему именно произведения этого художника так особенно приковали мое внимание? ... как натуралист, я должен, естественно, был увлечься именно им... Очевидно, между логикой исследователя природы и эстетическим чувством ценителя ее красот есть какая-то внутренняя, органическая связь" [13].

К.А. Тимирязев, как и Д.И. Менделеев, считал, что пейзажная живопись не случайно достигла своего развития именно в XIX в. — веке естествознания.

В архитектуре романтизм не произвел такого переворота, как в живописи, вероятно, из-за большой живучести сил старых традиций, которые еще смогли родить ту форму эклектики, которая никогда и нигде до этого не была создана в таком идеальном воплощении. Но само название направления тесно связано с архитектурой. "Романтическим" называли в конце XVIII в. садово-парковый стиль в Англии. Романтизм питал ростки новой архитектуры и проявил себя в конце XIX в. (города-сады, модерн) и XX в. (органическая архитектура Ф.Л. Райта, Х. Херинга, биологические направления).

Идеалы романтизма вобрала в себя ландшафтная ар-

хитектура. Она всегда была отражением идеи о земном рае и утерянной совершенной гармонии между человеком и природой. В XVIII в. в противовес строгой геометрии садов и парков с регулярной формой насаждений и зеркалом вод утверждается новая концепция ландшафтной архитектуры, базирующаяся на экзотике, живописности, с включением извилистых тропинок, нерегулярной формы лужаек, искусственных водоемов, холмов, с вкраплением беседок, крытых аллей из вьющихся растений, руин готических сооружений, пагод в восточном стиле. Особенно сильным было влияние вековых традиций китайской и японской ландшафтной архитектуры с сохранением дикого характера природы и лишь с незначительной корректировкой ее линий и форм в соответствии с идеальной "концепцией природы".

В XIX в. сады и парки стали не только "оправой" человеческих чувств, но и научными центрами. Их эстетика заключала в себе философию природы своего времени. Ботанические сады, в огромном количестве появившиеся в это время, были одним из ярких примеров ландшафтной архитектуры.

Выдающимся архитектором-романтиком считают англичанина А. Пугина. Его строительная практика не отличалась особой новизной, весь его талант был направлен скорее на создание декоративных форм. Но его теория была важным вкладом в становление новой архитектуры.

Немецкого архитектора Л. Персиуса признают основателем романтической школы архитектуры. Его дома по внешнему виду напоминают строения в готическом и романтическом стилях. Главное же его достоинство — умение связать объекты с природой в единое целое. Свои сооружения он проектировал в строгом соответствии с климатом, с положением солнца и характером ландшафта. Часто считают, что его творчество предшествует появлению городов-садов и теории органической архитектуры.

Последователи Персиуса английские архитекторы Ф. Вебб и Н. Шоу соединяли готику с народными традициями, создавая таким образом "идеал" национального стиля в отличие от чужеродного классицизма.

В возвеличении пейзажа, в развитии ландшафтной архитектуры можно видеть отражение некоторых моментов теории эволюции, касающихся значительной роли окружающей среды в формировании растительного и животного мира, когда изменение среды влечет за собой изменение формы природного объекта. Выступая против абстрактности классической архитектуры, романтики считали, что живую архитектуру следует создавать из местных материалов, она должна вырастать из почвы подобно местному растению и определяться окружающей ландшафтом и национальными особенностями каждого отдельного региона.

Концепция взаимосвязи искусства и природы Д. Рёскина, известного теоретика XIX в., тесно связана с романтизмом, идеологом которого его считают. Для своего времени Рёскин получил очень хорошее образование в области естествознания, с раннего детства занимаясь геологией и ботаникой наряду с живописью, архитектурой, литературой. В 15 лет для "Журнала по истории естествознания" он пишет очерк о причине изменения цвета воды в Рейне, иллюстрируя его очень точными научными и тонкими художественными наблюдениями, а чуть позже делает научное исследование о геологических слоях горы Монблан. Его дневники путешествий заполнены заметками по геологии посещаемых стран, сведениями о встречаемых геологических образованиях.

В 23 года он написал книгу "Современные художники", имеющую целью защитить Тернера от нападок критики. Изучение работ Тернера было важным источником познаний природы, не уступающим научному познанию:

"Каждый день я иду в город, чтобы изучать Тернера... Затем я записываю, чему я научился у него. Потом в погожие дни я посвящаю немного времени кропотливому, трудному исследованию природы; при непогоде я за основу беру лист или растение и рисую их. Это обязательно ведет меня к выяснению ботанических их названий и к микроскопической ботанике" [14].

Рёскин требовал от художников научного воспроизведения природных форм. Он писал: "Когда Сальватор, например, изображает на переднем плане картины массу, про которую я не могу сказать, гранит ли это, асфид или туф, то я считаю это небрежностью. Тициан проявил больше ботанической точности. На его картине "Бахус и Ариадна" я различаю *Iris Communis*, *Aquilegia* и *Capparis Spinosa*. На переднем плане — морское растение, которое носит название *Cramba* [15].

Рёскин сформулировал идею романтизма, в соответствии с которой бог — это сама природа. Ф. Таусенд говорил, что Рёскин поместил творца в его творение, скомбинировав пейзаж и религию. Потерянную веком веру в бога он заменяет любовью к природе и создает теорию о моральном усовершенствовании человека посредством красоты пейзажа как "огромного инструмента духовной культуры".

Тернер дал Рёскину и урок архитектуры. Изучая пейзажи Тернера, Рёскин открыл различие между английскими и итальянскими коттеджами. Это побудило его написать серию статей под общим названием "Позиция архитектуры или архитектура европейских наций, рассматриваемая в ассоциации с природными ландшафтами и национальным характером", которая стала грамматикой ландшафтной архитектуры.

Рёскин не только поддержал интерес романтизма к готике, но был одним из самых ярких ее пропагандистов. О ней он написал две работы: "Семь критериев архитектуры" и "Камни Венеции".

Рёскин отрицал классические идиомы (эпоху Возрождения он называл "грязным потоком"), и всю полноту правды о природе, выраженной в пейзажной живописи, он нашел в готической архитектуре, использующей природные аналогии для своих декоративных форм и столь гармонично объединившей в себе природное и духовное начало.

Его идеал архитектуры был непосредственно связан с природой. По его мнению, романтическая любовь к живописности является следствием разрушения техническим веком традиционной красоты природы, поэтому предназначение архитектуры он видел в том, чтобы заменить природу в городах: "Сейчас мы все не можем иметь ни своих садов, ни своих милых полей, чтобы там поразмышлять вечером. В таком случае функция нашей архитектуры заключается в том, чтобы заменить все это, рассказать нам о природе, захватить нас ее покоем, быть такой же торжественной и полной, как она, богатой в использовании ее форм" [16].

Взаимосвязь архитектуры с природой Рёскин видел в ее приспособлении к национальному ландшафту, в использовании народных традиций и обильном применении природных форм в декоре.

Говоря о влиянии биологических знаний на искусство, следует отметить личность Гёте — творца, достигшего необычайных высот как в биологии, так и в искусстве. На его примере можно проследить влияние естественно-научного творчества на художественное, характерное для его эпохи, понять, какое значение имели биологические изыскания в развитии эстетического мышления.

Гёте поражает не столько своим научным универсализмом, широтой и многообразием охватываемых областей знания, сколько той целью, которую он ставил перед собой: понять творческий процесс природы в целом и сформулировать принципы, согласно которым должно следовать созидание. Шиллер говорил, что Гёте старался уловить в природе все сокровенные законы ее творчества.

Не случайно в биологии он был основоположником морфологии — науки об организме в его целостности,

проявляющейся прежде всего в форме организма: "Морфология должна содержать учение о форме, образовании и преобразовании органических тел" [17].

Чем определяется форма в природе, как она рождается, развивается, изменяется? Что для нее характерно, каково ее место в универсуме природы?

Выделение науки о форме и строении живых организмов — морфологии и науки об их функциях — физиологии было значительным событием в биологии. Изучение живых организмов в ботанике и зоологии долгое время носило описательный характер, и это исторически обусловило главенствующую роль формы, но при попытках систематизации и классификации живого мира оказалось, что для определения биологических видов кроме формы необходимы еще функциональные критерии. Вокруг вопроса о роли функции и формы развернулась дискуссия, которая вовлекла выдающихся ученых и продолжается по некоторым аспектам до настоящего времени. Занимаясь морфологией, Гёте отдавал должное физиологии: "Хотя мы считаем наши работы только анатомическими, тем не менее они всегда должны вестись, чтобы быть плодотворными и вообще возможными, с ориентацией на физиологию" [17].

Он считал, что форму и функцию нельзя противопоставлять, поскольку первая явствует о биологическом процессе "изнутри наружу", а вторая — "снаружи внутрь". Эта дискуссия в естествознании оказала большое влияние, в частности, на архитектуру. В нее из биологии вошло понятие "функция", дополнившее ранее употребляемые термины: назначение, целесообразность, польза, удобство здания и т.п. В искусстве проблема взаимоотношения формы и функции, формы и содержания обсуждается и сегодня, и нужно особо отметить, что принципы "форма следует функции", развитие "изнутри наружу" и "снаружи внутрь" сыграли выдающуюся роль в становлении новой архитектуры.

Два великих открытия Гёте в морфологии были связаны с поиском причинности единства и разнообразия живой природы. Весь органический мир он представлял как один взаимосвязанный организм: существование растений, насекомых, морей, гор, рыб и птиц взаимобусловлено. Исходя из этой целостности, Гёте искал единосущностные законы природы, "вселенной внутренней связи" и обнаружил у человека межклеточную кость, отсутствие которой теологи считали последним подтверждением идеи о надприродном, божественном происхождении человека.

Имея дело в биологии с единым миром живых организмов, он вводит новое понятие "мировой литературы", как единого явления, обогащающего национальную культуру.

При всем своем единстве органический мир чрезвычайно разнообразен. Гёте видел в нем живое целое, постоянно созидающее, нескончаемо длящийся процесс возникновения новых форм — от примитивных организмов до человека, образующихся под влиянием внутренних и внешних факторов. Причину разнообразия он находил в изменении одного типа. В поисках типического, являющегося связующим звеном всего органического мира, Гёте пришел ко второму своему открытию — метаморфозу растений. Он ищет типовую форму, лежащую в основе образования целого, "первичный феномен" или "прафеномен" (*Urpflanzenform*) — предел абстракции в изучении данного круга феноменов, образная формула, синтез явлений.

Само "прарастение" Гёте не нашел, но пришел к пониманию, что все разнообразие формы растений (почка, цветок с его чашечкой, лепестками, пестиком, тычинками, плод) является развитием простейшей формы, видоизменением, т.е. метаморфозом, одного и того же типичного образования — листа. Таким образом, бесконечное разнообразие растительного мира предстало как резуль-

тат непрерывного метаморфоза, как видоизменение единого основного типа, как закон, которому подчинено становление всех растительных форм.

Идея "прастения" оказалась чрезвычайно плодотворной в эстетике. На ее основе Гёте развил учение о типическом.

Высокую оценку получили разработки Гёте в области цвета, которым он занимался в связи со страстным желанием стать художником.

В течение долгой творческой жизни Гёте в искусстве сменялось множество стилистических направлений — барокко, рококо, классицизм, неоклассицизм, эклектика и романтизм. Искусство архитектуры своего времени он называл "ремеслом ветошника" и призывал архитекторов строить согласно потребностям и новым эстетическим правилам, тогда планы архитектурных сооружений создавались бы "целесообразно и правдиво" и из них заструилась бы живая красота [18].

Будучи естествоиспытателем, Гёте сделал попытку с точки зрения биолога определить истинные основы взаимосвязи живописи и архитектуры с природой, учитывая разность задач естествоиспытателя и художника:

"Поэтому мы и поставили себе цель стать посредниками в этом деле и, хотя и не считаем возможным выполнить всю эту работу, которая бы здесь потребовалась, все же надеемся дать общий обзор вопроса, а отчасти приступить к разработке отдельных его частей" [18].

Гёте отмечает три возможные формы отношения художника к природе. Первая — подражание, которое он считал "преддверием" искусства. Вторую форму он называет "манерой", здесь больше действует субъективное начало художника. Подлинное художественное творчество, определяемое им словом "стиль", основывается "на глубочайших твердых познаниях", живая модель — только сырье, "подлинный источник нашего видения заключен в нашем знании" [18]. В таком случае наряду с анатомией, органической природой художнику полезно знать минералогию, иметь многостороннее представление об общих явлениях природы, об исследованиях физики звука, света, цвета и т.д. Гёте постоянно говорит о необходимости придерживаться природы, изучать ее, воспроизводить и творить нечто сходное с её явлениями, так как человек только тогда сможет соперничать с природой, обращаясь к средствам искусства, когда он хоть сколько-нибудь научится у нее тому, как она поступает при создании своих творений. Но созидатель может достигнуть высокой художественной правды как главного условия искусства, по мнению Гёте, только тогда, когда он сможет "... соревнуясь с природой, творить нечто духовно органическое, придавая своему произведению такое содержание, такую форму, чтобы оно казалось одновременно естественным и сверхъестественным" [18].

Вклад Гёте в формирование идеи органической архитектуры огромен. На его работы ссылались Л. Салливан, Ф.Л. Райт, Ле Корбюзье. Своими достижениями в искусстве и биологии, своим сравнительным методом познания истоков формообразования в природе и искусстве он оказал огромное влияние на творчество своих современников и последующие поколения. И сейчас, полтора века спустя его исследования о взаимосвязи природы и человеческого творчества остаются живыми.

К гётевскому представлению был очень близок американский скульптор Горацио Грино, создавший любопытную для своего времени теорию архитектуры. Его скульптура, основанная на классических идеалах прошлого, и его архитектурная теория — предтеча новой архитектуры, столь противоположны по характеру, что, кажется, принадлежат двум разным личностям.

Архитектурная теория Грино была создана под впечатлением кризисного состояния тогдашней архитектуры в Америке. Во время своего посещения страны с целью установления статуи первому президенту США Грино вдруг увидел Америку опытным взглядом художника, свежим после долгого отсутствия. Формы

греческих и римских храмов использовались при строительстве банков и магазинов Нью-Йорка, Бостона, Филадельфии.

Наблюдая отвратительную картину смешения стилей, фальши в использовании материалов, он отмечал, что единственно истинной архитектурой в Америке является простой старый сельский дом из-за его близости к климату и окружающему ландшафту. Грино был выдающимся пропагандистом создания американского национального искусства, которое бы имело свой собственный характер и выражало особенности своего народа.

Осуждая плагиат шедевров античности, он предлагал пути выхода архитектуры из кризисного состояния: "... и когда перед моими глазами предстали гениальные формы, созданные в Италии, я начал чувствовать значение природы" [19].

Грино приходит к выводу, что природа является "единственно истинной школой искусства" [20]. Подобно романтикам он верит в неограниченные формообразующие богатства природы: "Позвольте нам проконсультироваться у природы, и мы удостоверимся в том, что она обладает более значительными сокровищами, чем могли мечтать греки, как в искусстве, так и в философии" [21].

Под консультацией у природы он подразумевал изучение скелетов и останков многочисленных видов животных, птиц, рыб и насекомых, установление закономерностей рождения и жизнеспособности природных форм. Некоторые из них он сформулировал. Прежде всего это обусловленность природных форм, выраженная в адаптации. Грино различал два вида адаптации. Во-первых, формы к среде. Природа подтверждает изменение и соответствие организма относительно окружающей среды: длина шеи у травоядных животных, ног у болотных птиц, цвет для маскировки или нападения, отсутствие глаз глубоководных или подземных животных.

Обусловленность природных форм заключена, во-вторых, в соответствии (адаптации) формы своей функции: "... если и есть какой-то структурный принцип, наиболее полно проявляющийся в произведениях природы, чем все другие, то этот принцип неуклонного приспособления форм к функциям" [19].

Именно Грино ввел и развил, согласно специфике архитектуры, принцип "форма следует функции". Если функция определяет форму в природе, то как этот принцип может действовать в искусстве? Здание должно соответствовать своему назначению, своей функции. Банк должен иметь "физиономию" банка, магазин — "физиономию" магазина, т.е. внешнее выражение внутренних функций. Типологию зданий он считал одним из определяющих факторов совершенной формы.

Биологические знания, аналогии с природой помогли ему обосновать свои предложения в сфере решения проблем проектирования. Фундаментальный закон адаптации организмов к среде, теория эволюции, взаимосвязь формы и функции легли в основу системы принципов Грино для создания теории органической формы в архитектуре. Вот каким образом он кратко резюмирует, какой быть архитектуре: "... точное расположение пространств и форм, приспособленных к функциям и окружению; акцентирование выразительности свойства пропорционально их степени важности в функции; цвет и орнамент нужно выбирать, располагать и варьировать согласно строгим органическим законам, имея определенные в каждом отдельном случае основания для каждого решения; полное и немедленное изгнание всякой фальши" [22].

В созданном человеком предметном мире идеальным творением, в котором воплотились вышеизложенные принципы, Грино считал корабль: "Он обладает организацией, подобной только организации животного ... Это инженерная академия создала это чудо конструкции ... Если бы мы могли перенести в нашу гражданскую архитектуру ответственность, которая лежит на кораблестроителях, тогда у нас были бы здания такие же превосходные, как Парфенон" [21].

В зарождающейся американской индустрии он видел материальную основу новых эстетических стандартов, которые должны согласовываться с прогрессивной наукой и технологией: "Механики Соединенных Штатов уже обогнали художников и благодаря смелой и неуклонной адаптации (к новым индустриальным условиям. — Е.П.) вышли на истинный путь и показывают свет для тех, кто действует для американских потребностей" [22].

Грино настаивал на заимствовании архитекторами достижений, полученных инженерами и строителями промышленных сооружений, в которых функция тесно связана с формой: "Если такая анатомическая связь и пропорции были достигнуты в кораблях, машинах и таких сооружениях, как мосты, то почему мы боимся их использовать непосредственно во всех конструкциях?" [21].

Архитектура, все еще имеющая дело с историческими формами, должна основываться на тех же самых принципах простоты и совершенства, инженеры "находятся гораздо ближе к Афинам в этот момент, чем те, кто привязывает греческий храм везде, где его только можно прилепить" [21]. Широко анализируя аналогию природного мира, техники и архитектуры, Грино постоянно подчеркивал, что моделирование должно происходить только на основании постигнутых принципов, а не заимствования форм.

Источниками теории органической формы Грино были биология и некоторые эстетические теории его времени. Еще будучи студентом Гарвардского университета, он самостоятельно изучал анатомию, ботанику, зоологию, теорию эволюции, организацию, структуру, форму живой модели; в своих работах он ссылается на Бюффона, Ламарка, Сент-Илера. Ему была знакома работа Чемберса "История творчества в природе". На мышление Грино серьезно повлияла сравнительная анатомия. Он хорошо знал работы ведущих английских физиологов Джона и Шарля Белла. Последний был также художником, автором популярной в то время книги "Анатомия и философия выразительности применительно к изящным искусствам" (1806).

Заметим, что в теории эстетики еще в середины XVIII в. в Европе появилось множество работ, исследующих на разных уровнях проблему природных аналогий в искусстве. Это работы итальянцев Карло Лодолли, Франческо Альгаротти, Франческо Милиция, француз — Булле, Леду, Лекё.

Интересна не только теория Грино, почти на столетие опередившая свое время, поражает удивительное сходство его мышления и формулировок с высказываниями великих архитекторов "современного движения". Есть ли какая-то непосредственная связь между ними? Источники умалчивают об этом. Казалось, что между ним и Салливером лежит временная пропасть, и все же яркое развитие его идей Салливером и внедрение их в архитектурную практику говорит о преемственности. Предполагают, что Франк Фарнисс, в фирме которого начал свою проектную деятельность Салливер, мог знать об идеях Грино от своего отца, дружившего с Эмерсоном — другом Грино.

Салливер фактически создает концепцию органической архитектуры. Он разъясняет понятие "органичность" архитектурных объектов, разницу между "органическим" мышлением и логическим, говорит о факторах, способных создать "органическую архитектуру". Его концепция закономерно складывалась в борьбе против эклектики, и образ "органической архитектуры" вырос на основе наблюдений над природой и изучения биологических исследований, среди которых были "Контроль наследственности" Рефильда, "Аспекты Земли" Шалера, "Природа" и "Метаморфоз растений" Гёте, "Происхождение видов" Дарвина и др.

Особый смысл для Салливера имела дарвиновская теория эволюции: "... у Дарвина я нашел много пищи, теория эволюции кажется потрясающей" [23]. Видя аб-

сурдность соединения в небоскребах новой структуры и современных материалов со средневековыми шпицами и классическими колоннами, карнизами, он создает новые стандарты архитектурных форм, выражающие цель, структуру, материал, время и место сооружений. Теория эволюции как бы подтверждала отказ от отживших форм, принадлежавших ранним культурам, и отбор среди предлагаемых форм самых обоснованных, свойственных условиям нового времени. Она давала Салливеру основание говорить о непригодности эклектики, этого косного мышления, остановившегося в своем развитии на тысячелетие.

Он считал, что архитектура еще может стать живым искусством, если она будет следовать объективным законам, действующим в природе. "Конечной и всеобъемлющей формулой решения проблемы" является биологический закон — "форма следует функции": "Будь то орел в своем стремительном полете, яблоня в цвету, ломовая лошадь, везущая груз, журчащий ручей, плывущие облака в небе и над всем этим вечное движение солнца — всюду и всегда форма следует за функцией, таков закон" [24].

Что подразумевал под этим принципом Салливер? Во-первых, то, что форма не является следствием субъективной волеи художника. Пластическая выразительность, экспрессивность внешнего облика объекта — результат его назначения, его функции: "Все функции в природе являются основной движущей силой и свидетельством всемогущей природы жизни. Применение этой идеи к архитектурному искусству заключается в том, что функция здания должна предопределять и организовывать свою форму" [25].

Во-вторых, этот принцип означал, что форма должна выражать структурную природу здания: функция частей или элементов находит свое отражение во внешнем облике. В трехчастном характере своих высотных зданий он проводит аналогию с сосной — ее мощными корнями, прямым стройным стволом и зеленой кроной на вершине.

В-третьих, правдивость в использовании материала. Если здание имеет стальной каркас, это необходимо выразить, а не делать его похожим на массивное сооружение из камня и кирпича.

В-четвертых, архитектура должна развиваться изнутри и выражать окружение, из которого она произрастает.

В-пятых, архитектура должна соответствовать духу времени и интерпретировать национальные особенности: "... форма римской архитектуры выражает ... функцию — жизнь Рима; форма американской архитектуры будет вырезать ... американскую жизнь" [24].

В апофеозном использовании органического орнамента Салливер следует тезису Рёскина об архитектуре, заменяющей в городе природу. Некоторые его здания открыты орнаментом сверху донизу (рис. 14). Орнамент он рассматривал как один из утонченных аспектов архитектурной экспрессии, как второй творческий импульс после самой формы здания (рис. 15). Органичность орнамента он видел не только в использовании цветов, листьев, плодов, но в единстве с телом здания, выражением материала и ритма: орнамент должен принадлежать структуре точно так же, как определенные листья могут соответствовать только определенному дереву.

В отличие от Гёте, Рёскина, Грино, Салливер был профессиональным архитектором, его теория органической архитектуры исходила из его практики, ему удалось овесть абстрактный принцип "форма следует функции". В отличие от романтиков, ландшафтных архитекторов, создававших прогрессивную для своего времени архитектурную теорию, но на практике остающихся эклектиками, у Салливера проявилось единство архитектурной теории и практики. Поэтому его влияние на дальнейшее развитие архитектуры было очень сильным, его достижения были опорой современной архитектуры.

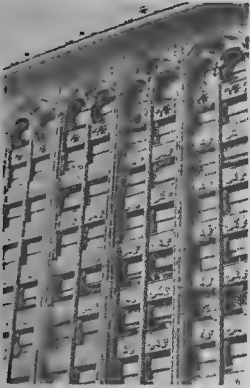


Рис. 14. Л. Салливен. Фасад здания Бейард. Нью-Йорк, 1897–1898 гг.

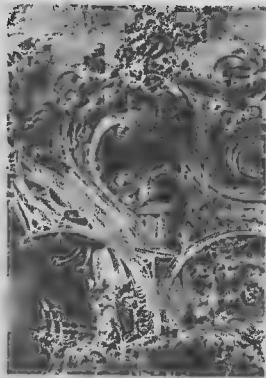


Рис. 15. Л. Салливен. Фрагмент декора на фасаде магазина Шлессингера-Мейера. Чикаго, 1899–1904 гг.



Рис. 16. Г. Гимар. Дом д'Оржевилль вблизи Морсан-сюр-Орж, 1905 г.



Рис. 17. В. Орта. Купол над лестницей дома Обек. Брюссель, 1900 г.

Салливен был не так одинок, как Грину. Фактически он представлял модерн — направление конца прошлого и начала XX века, еще более мощного, чем ландшафтная архитектура. Целое поколение архитекторов обратилось к природе, как источнику формообразования, писал о нем Ле Корбюзье. В мире оно выплеснулось под разными названиями: ар нуво, либерти, сецессион, стиль модерн, югендстиль, стиль Тиффани. Множественность названий отражала и определенную множественность вариаций, но в движении, распространившемся от Европы до Америки и России, угадывалось общее стилистическое единство. Оно проявилось прежде всего в трактовке здания как живого организма. Его наделяли движением, определенным ритмом, живой пульсацией и применением утонченного колорита. Важным архитектурным компонентом был органический орнамент и волнообразная, струящаяся декоративная линия. Легко и изящно она обрисовывала здание, входила в росписи интерьеров и бытовых предметов, решенных в виде цветов и фруктов, поникших стеблей, волн, змей, ниспадающих женских волос. Эти черты свойственны работам Орта, Анкара, Гимара, Ван де Вельде, Макинтоша, Тиффани, Шехтеля (рис. 16, 17).

Концепцию природных аналогий романтизма и модерна в архитектуре наиболее ярко выразил испанский архитектор Антонио Гауди. Двойственность характера его работ заключалась в том, что Гауди, обладавший выдающимся творческим потенциалом, фактически сформировался в век господства эклектики. Его творческий путь шел от эклектики и натурализма к архитектурной изобразительности. С романтизмом его роднит стремление к экзотике, следование национальным каталонским истокам, использование традиционной техники сводов, арок, глубочайший интерес к природе, которая была для него кладовой в поисках форм, в решении проблем фактуры, материала и цвета. Вероятно, Гауди в наибольшей мере удалось осуществить идею романтизма создания "живого" дома.

В его первых работах — дом Висенс, дом в Комиллас, вилла и дворец Гюзль — чувствуется влияние эклектики, для них характерны также живописный декоративизм и натурализм. Обращает на себя внимание умелое использование камня, декоративное плетение из кирпича и терракоты. Поразительна по своей красоте облицовка из кусочков ярко окрашенного кафеля, виртуозность и изобретательность органических мотивов в металлических решетках, деталях фасадов и интерьеров.

В капелле и парке Гюзль очевиден отход Гауди от эклектики. Экспериментальность — главная черта капеллы (1898–1914). Ее план свободный, асимметричный, по своему виду напоминает не то черепаху, не то лягушку (рис. 18). Стены с обвалами, изломаны с целью обеспечения структурной жесткости. Особенно причудлива мозаика стен из камня, черного базальта, обожженного кирпича неправильной формы.

Нагрузка и форма несомых частей определяла форму, размеры, сечение опор. Здесь нет двух одинаковых колонн, они размещены нерегулярно, различны по материалам и форме. Одни высечены из серого камня, грубые, почти необработанные, другие выложены из кирпича. Поразительна их схожесть со стволами деревьев, расходящихся нервюр — с ветвями. В капелле впервые программно Гауди осуществляет идею "наклонных опор", которые позволяли воспринимать распор от сводов, работая лишь на сжатие.

Как представитель модерна, он стремился развивать готику с того момента, где ее прервало Возрождение. Вместе с тем Гауди потешался над опорами готических соборов, называл их "костылями", считал, что они сильно сковывали фантазию зодчих, и взамен предложил "наклонные опоры" (рис. 19). Их нельзя было осуществить обычными ортогональными методами. Гауди всегда работал с моделями из гипса, бумаги, картона, тросов, парусины. При работе над моделью капеллы структура подвешивалась под потолком, точная позиция натяжения и нагрузок фиксировалась, затем шла доработка графическими методами и расчетами. Структура переворачивалась, дальнейший анализ позволял скорректировать план, отыскать направление действующих сил в конструкциях, определить конечный характер архитектурных объемов (рис. 20).

Кирпичные своды капеллы сделаны в виде гиперболического параболоида. Тотальный скульптурный эффект подчеркнут соединением стен, колонн, сводов в непрерывное целое.

В парке Гюзль (1900–1914) Гауди продолжает свои эксперименты с наклонными опорами. Стремясь сохранить гористый ландшафт, зодчий осуществляет целую систему дорог, галерей с опорами, по форме напоминающими деревья (рис. 21). На некоторых каменных колоннах высажены растения и таким образом создано впечатление живых стволов, ветвей и листьев. В большинстве случаев камень на стволах напоминает кору, некоторые из опор закручены для акцентирования их живости, движения (рис. 22).

Диаграмма нагрузок и напряжений, сделанная Гауди

для опор парка, показывает, каким образом он достигал наиболее совершенных форм, действуя не произвольно, а высискивая их с глубоким научным обоснованием (рис. 23).

В парке проявился большой дар Гауди пейзажиста, колориста, ландшафтного архитектора. Здесь повсюду встречаются мотивы живых форм: мотыльков, ящериц, змей, голов собак, львов. Все движется, все живет. Для парка в высокой степени характерно стирание граней между природным и человеческим.

Дом Баттло (1905—1907) похож на морское чудовище. Волнообразный фасад облицован керамикой и украшен декоративными пятнами из яркого цветного битого стекла. Балконы похожи на рыбы головы. Первый и второй этажи, сделанные из известняка, будто вылиты из лавы, даже с изображением потоков. Их колонны похожи на кости с суставами, что дало основание жителям города назвать дом "домом из костей" (рис. 24).

Крутая крыша переднего фасада покрыта черепицей необычной чешуеобразной формы (рис. 25). Она подобно фасаду переливается яркой радугой от сине-зеленова-

тых тонов справа до оранжевого и ярко желтого слева. Крыша со двора облицована мельчайшими кусочками битого кафеля и напоминает петушиный гребень. Ее украшают гроздевидные скульптурные вентиляционные трубы и дымоходы, похожие на колышущееся от ветра пламя.

Потолки неровные, волнообразные, округлой формы. Окна и двери сделаны так, будто смотрят в мир моря в подводном царстве.

Необходимо отметить, что большинство архитектурных сооружений без присутствия людей становятся мертвыми, сооружения же Гауди как живые организмы живут самостоятельной жизнью. Это же можно сказать о его мебели — она "населяет" пространство. За ней любопытно наблюдать: шагает столик, развалился утомленный диван, ведут диалог стул со столом, их спинки как физиономии выражают характер и настроение, их ножки с копытцами и суставчиками выгнуты как у лани.

Дом Мила (1905—1910) относят к разряду самых "экспрессионистских" сооружений Гауди. Круговорот жизни отмечен уже в плане, где нет ни одного прямого

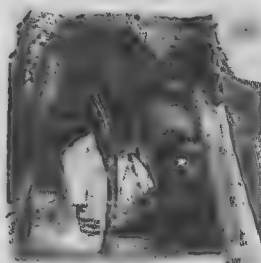
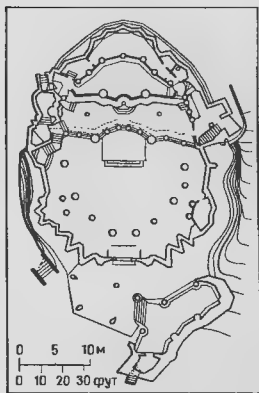


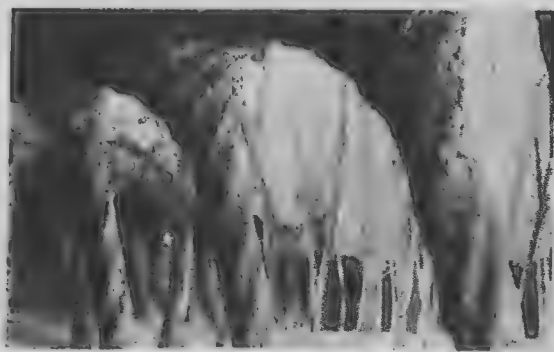
Рис. 18. А. Гауди. План капеллы Гюэль. Барселона, 1898—1914 гг.

Рис. 19. А. Гауди. Наклонные опоры капеллы Гюэль

Рис. 20. А. Гауди. Моделирование форм

Рис. 21. В. Гауди. Сооружения парка Гюэль. Барселона, 1900—1914 гг.

Рис. 22. А. Гауди. Наклонные опоры сооружений парка Гюэль



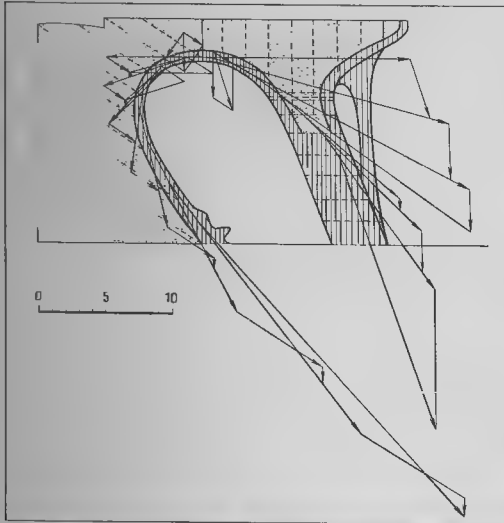


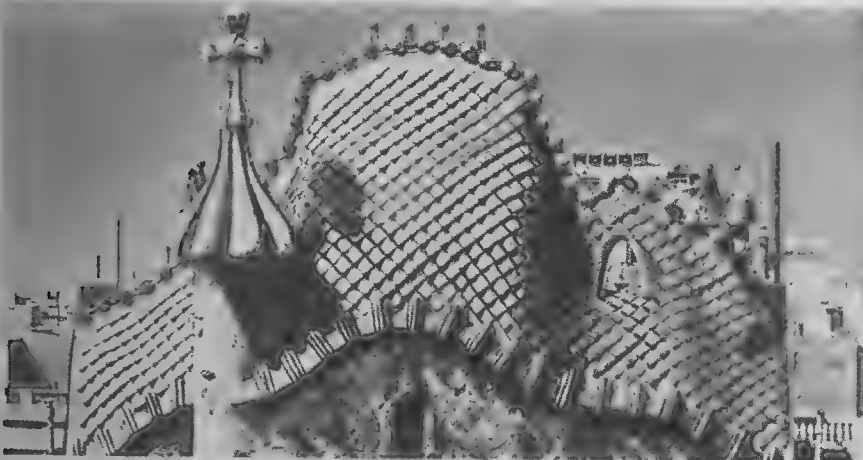
Рис. 23. А. Гауди. Схема силовых нагрузок опор парка Гюэль



Рис. 24. А. Гауди. Дом Баттло. Барселона, 1905–1907 гг.

Рис. 25. А. Гауди. Крыша дома Баттло

Рис. 26. А. Гауди. Собор Саграда Фамилья. Барселона, 1883–1926 гг.



угла. По внешнему виду здание сильно напоминает скальные слоистые природные образования, встречающиеся в окрестностях Барселоны. Оно производит впечатление созданного не человеческими руками, а естественной эрозией выветренной скалы размытой дождями. Некоторые очевидцы утверждают, что здание воссоздает впечатление моря в центре Барселоны, этажи движутся волнами, а металлические балконы колышутся, подобно водорослям в воде. Потолки походят на песчаные взморья после отлива или же растекаются вулканической лавой. Крыша населена сказочными созданиями — монументальная скульптура дымоходов и вентиляционных труб чрезвычайно антропоморфна.

Собор Саграда Фамилья (1883–1926) кажется отличным неземными существами и предназначенным для космических миров. Скалообразные пещеры будто населены людьми, птицами, зверями, змеями. От ветра колышутся каменные деревья и растения. В соборе насчитывается 80 видов скульптурных животных и столько же видов деревьев и растений. Стены вскипают пенящейся волной (рис. 26).

Даже среди уникальных памятников мирового архитектурного творчества работы Гауди выделяются удивительной оригинальностью, поражают схожестью с дикорастущими растениями, с образованиями, созданными первородными силами природы. Гауди обладал магическим даром наделять жизнью все, к чему прикасались его руки. Его наследие — истинная лаборатория по исследованию природных и созданию формообразующих архитектурных средств. Гауди сделал большой вклад

во взаимосвязь архитектуры и природы своего времени конструктивными достижениями и попыткой создать комфортную среду с наибольшим приближением к природной. Фактически это уже был выход на экологию архитектуры и градостроительства.

Но наибольшее выражение идея романтизма о сохранении природной и традиционной среды перед лицом "грязной индустриализации" получила в концепции и движении городов-садов. В искусство и градостроительство идея города-сада английского стенографиста Эбенизера Говарда пришла как бы извне, она выросла не на эстетической почве, а на социально-утопической. Его первоначальные сторонники были не градостроителями или архитекторами, а реформаторами, которые мечтали о переустройстве современного общества.

Говард рассматривал город как средство исправления капитализма и создания цивилизации, основанной на кооперации. Стремясь устранить "противоестественное разделение общества и природы", он проанализировал состояние больших городов, которые он называл мыльными пузырями и нарывами. Для них характерны перенаселенность, хаотичность, громоздкость. Трагедия города, как организмы, Говард подчеркивал одряхление и нездоровье старых городов. Он цитирует статьи из журналов и газет, выступления членов правительства о непомерном развитии городов, о том, что они превращаются "в могилы национальной силы", что Лондон стал "проказой, всасывающей в свое переполненное чрево половину жизни, крови и богатств деревенской части страны" [26].

Лондон он видит сгустком противоречий и безысходности, которые угрожают всем остальным городам. Ставя своей целью реформировать и оздоровить существующие города, чтобы подарить его жителям "больше солнечного света, больше чистого воздуха, больше близости к природе", Говард выдвигает новую форму городского расселения, которая должна соединить в себе положительные стороны города и деревни.

Для ясности изложения своей идеи он использовал метафорический образ магнитов. Город и деревню он называет двумя магнитами, каждый со своим силовым полем притяжения и отталкивания. Предлагаемый им третий магнит, названный городом-садом, будет лишен недостатков предыдущих двух, в нем "все преимущества самой энергичной и активной городской жизни могут отлично сочетаться со всеми красотами и радостями деревни" [26].

Предлагая город, в котором все граждане могли бы пользоваться социальными благами и здоровой окружающей средой, Говард продумал и эстетическую его сторону. В его представлении кругообразный план города наилучшим образом будет соответствовать идеалам равенства, неумолимая симметрия им мыслилась как символ и продукт его идеальной кооперации, признак гармонического общества. Генеральный план города должны разрабатывать инженеры, архитекторы, землемеры, садоводы и электротехники, что обеспечит профессиональный подход к строительству, единство плана и намерений, определения границ и плотности: "Подобно реке, дереву или животному город в каждой стадии своего роста должен обладать единством, симметрией и законченностью" [26].

Говард обращал особое внимание на разнообразие архитектуры в городах-садах, предполагая широкое поощрение индивидуальных вкусов и желаний. Город должен был застраиваться домами коттеджного типа в один-два этажа с шестью комнатами; каждый дом с маленьким красивым садом размещался так, чтобы обеспечить "максимум пользы и удобства". Красота общественных зданий должна приносить такое же наслаждение, как и окружающая природа.

Но закладывая основы организма — города нового времени, эстетические идеалы Говард связывал с романтизмом Д. Рёскина, с его идеализацией прошлого. Не случайно главу, посвященную характеристике третьей формы расселения, магнита города-сада, он начинает цитатой из работы Рёскина "Сезам и Лилия".

Поскольку Говард не был архитектором, строительная компания архитекторами первого города-сада Лечуорта выбрала фирму Паркера и Анвина. В строительстве они ввели некоторые свои собственные идеи, главная из которых связывалась с системой принципов, объединенных названием "органического единства", "органической целостности". Отказавшись от геометрических методов городского планирования, отбросив механическую симметрию первоначального Говардовского плана, его строго геометрическую диаграмму, Паркер и Анвин искали более "органическое" чувство порядка, подканное характером территории. Они использовали расположение холмов, рек, старой римской дороги и даже некоторые большие деревья для определения плана города. И осуществили они это так искусно, что до сих пор у очевидцев Лечуорта вызывает впечатление не сознательно созданного города, а естественно родившегося природного организма.

Принцип "органического" единства нашел свое воплощение в выборе стиля архитектуры. Паркер и Анвин считали, что говардовский дух кооперации наилучшим образом может выразить стиль, идущий от традиционной деревенской архитектуры, живописных коньков и черепичных крыш. В их представлении прекрасные старые английские деревни имели внешний

облик "органического" единства, потому что все их части взаимоувязывались, объединялись в одно целое.

Значение идеи городов-садов трудно переоценить. Многие сегодняшние градостроительные концепции фактически развивают ее или же противопоставляют ей.

Концепция "органической архитектуры" в творчестве американского архитектора Франка Ллойда Райта оформилась как ведущее направление новой архитектуры, которому активно следовали во всем мире. На формирование Райта оказали влияние три фактора: архитектурная теория и практика Салливена, в мастерской которого он работал пять лет, романтизм, а также интерпретация природы в японской архитектуре.

Он сформировался в русле романтических настроений модерна, в своей архитектурной теории и практике оставался ему верным, часто называя себя человеком прошлого века. С этих романтических позиций ему казался неприемлемым путь, по которому шло развитие архитектуры Ле Корбюзье, В.Гропиуса, Мис ван дер Роэ. Но важно отметить, что Райт углубил теоретическую разработку идеи "органической архитектуры", внедрил в архитектурную практику многие идеалы, выдвигаемые романтизмом в течение столетия, и вышел на новый уровень взаимосвязи архитектуры и природы, требуемый XX в.

В его жилых домах Чарли, Уинслоу, Уилитс, Роби, называемых "домами прерий", в его сооружениях 20–30-х годов ярко ощущается романтическая страсть к экзотике — архитектуре Японии и доколумбовой Америки, стремление мастера создать национальный стиль. Это проявилось в подчеркнутой горизонтальности, массивности зданий, выражающих гармонию с окружающим ландшафтом, приверженность к земле и образу старого американского сельского дома.

С мастерами модерна Райта роднит природный декор. Осознавая неприемлемость для новой архитектуры накладной художественной обработки здания, стремясь к удовлетворению принципа японской архитектуры "быть чистой", Райт не мог отказаться от зачастую чрезмерного применения декора, сочетая его с новыми конструктивными и объемно-пространственными решениями.

В представлении Райта органическая архитектура — это архитектура естественная, возникающая не на почве искусственных эстетических теорий, а из потребностей жизни: "Я требую от архитектурного сооружения того же, что и от человека: искренности и внутренней правдивости, и только с этим связаны для меня все качества архитектуры" [27].

Райт особо акцентировал свойство органической архитектуры соответствовать определенному региону земли: "В органической архитектуре сама земля предопределяет ее черты; климат влияет на них ... [28, 29].

Сооружение должно принадлежать природной среде, как ее живой элемент, не нарушая особенностей окружающего ландшафта: "Каждое здание, предназначенное для того, чтобы им пользовался человек, должно быть составной частью, согласующейся чертой ландшафта, родственно принадлежащей местности" [30].

Райт развил дальше воспринятый им от Салливена тезис органической архитектуры "форма следует функции". Отойдя от подчинения одного другому, он уравновесил их значимость в архитектурном решении: "Форма и функция едины, отсюда следует, что функциональное назначение и композиция здания едины. Они интегральны" [30].

Как важный принцип органической архитектуры Райт выдвигал требование правильного применения строительных материалов, утверждая, что "... все материалы применяются честно в соответствии с их свойствами" [31]. Материалы в его сооружениях не подчинены абстрактным идеям, а связаны с функцией и конструкцией зданий, их эстетические качества он творчески обыгрывал, не маскируя под штукатурку или краску. Наряду с традиционными материалами —



Рис. 27. Ф.Л. Райт. Дом над водопадом. Биер Ран, 1936 г.

Рис. 28. Ф.Л. Райт. Западный Тейлизин. Финикс, 1938 г.

Рис. 29. Ф.Л. Райт. Музей Гуггенхайма. Нью-Йорк, 1959 г.

камнем, кирпичом, деревом — он осваивал новые строительные материалы — стекло, металл, железобетон, и его достижения в этой области выдающиеся.

Райту было свойственно и использование органических форм. Примером тому служат колонны в интерьере конторского здания фирмы "Джонсон", напоминающие стебли растений, форма раковины в здании музея Гуггенхайма, сетчатый его потолок в виде паутины. Стремясь оградить себя от натурализма, он писал:

"... органическая архитектура — это архитектура "изнутри наружу", в которой идеалом является целостность, мы не употребляем слово "органическая" в смысле "принадлежащая к растительному или животному миру" [31].

В доме над водопадом (рис. 27), Западном Тейлизине (рис. 28), в здании музея Гуггенхайма (рис. 29) он сумел наиболее ярко отразить то понимание органической архитектуры, которое соответствовало XX в., его строительному и научно-техническому уровню.

Таким образом, при явных достижениях Райт скорее всего развивал концепцию романтизма, несколько отойдя от усиленного внедрения биологических знаний в архитектурное творчество, наметившегося в XIX и XX вв. К тому же, критикуя отречение от достижений научно-технического прогресса, сам он зачастую не принимал эпоху индустриализации.

Ле Корбюзье удалось в большей степени объединить в своем творчестве биологические и технические начала, подняться над уровнем традиционных представлений "органической архитектуры" и приблизиться к уровню бионических принципов архитектуры.

Говоря об архитектуре и градостроительстве, Ле Корбюзье редко использовал понятие "органическая",

тогда как понятие "биология архитектуры" в его работах встречается часто. Эти два понятия он не противопоставлял. Определение "органический", сказанное по отношению к объекту, созданному человеческими руками; значило для Ле Корбюзье высшую его оценку. И все же отход от столь популярного понятия был сознательным, в этом проявилось желание Ле Корбюзье выйти на новый уровень общения с природой (рис. 30 — 32).

Живая природа привлекала Ле Корбюзье. Он писал: "Мои детские годы протекали среди природы и друзей. Мой отец внушил нам культ гор и реки, которые образуют наш пейзаж... Гигантские горизонты были нашим кругозором. Я знал, как сделаны цветы изнутри и снаружи, форму и цвет оперения птиц и почему деревья сохраняют равновесие в горах во время бурь" [42].

В творчестве Ле Корбюзье взаимосвязь архитектуры и природы проявлялась в двух аспектах: природа была объектом его исследования как биологическая среда людей и неисчерпаемый источник принципов, необходимых для создания и организации предметного мира. Он очень наглядно представлял графически связь трех компонентов: природы, человека и предметного мира. На его рисунке, с одной стороны, человека пронзает острое конуса-природы, раскрытого в бесконечность, его содержание переходит в человека; с другой стороны, конус открывается в бесконечность — в человеческое творчество.

Исходя из того, что человек — "продукт природы", "продукт вселенной", Ле Корбюзье считал необходи-

мым ввести природу в жилище и на производство. Его исследования проблем среды являются одной из самых ярких страниц теории современной зарубежной архитектуры. Кажется, нет ему равных по разносторонности анализа кризиса окружающей среды, определению его причин и последствий и по множеству предложенных решений выхода из кризисной ситуации. С начала 20-х годов Ле Корбюзье занимается поиском ведущих экологических принципов. Он определил их понятием "основные радости": "Солнце, пространство, зелень — три столпа нашей доктрины" [32].

На основании этих принципов у него сложилась концепция "лучезарных городов", которую он внедрял в своих сооружениях и сотнях градостроительных проектов. Ле Корбюзье постоянно подчеркивал, что проблеме дегенерации окружающей среды нельзя решить при помощи распространения цветочных мотивов. Он видел спасение не в органическом орнаменте, а в экологическом подходе к этому вопросу. Реформу архитектуры нужно проводить изнутри, она связана не только с внешним видом объектов. Новые научные методы, исследования и открытия естественных наук требуют отказа от поэтики прошлых времен, часто основанной на поверхностном и мистическом подходе к природе. Следует выработать научный подход к природным явлениям, так как на вопросы архитектора наука сейчас дает тысячу ответов. Понимание архитекторами природы должно воплощаться не в декоре, а во всей системе архитектурной организации. Эту идею он воплотил в вилле Савой, капелле Роншан, павильоне Филиппа, в постройках Чандигарха (рис. 33—35).

Он приводил несколько примеров созданных человеком предметов столь совершенных форм, что над ними оказались не властны ни время, ни технический прогресс, — форма ножа, колеса, топора, лыж, гондолы, бутылки. Это подтверждает его идею о том, что производство человеческого творчества подчиняется и эволюционным правилам, действующим в живой природе, и достигают функционального совершенства путем улучшения и качественного отбора.

Идеи, представленные мастерами искусства прошлого, нашли благоприятную почву в последние десятилетия. В начале 60-х годов в различных частях земного шара возникают архитектурные направления — метаболизм, аркология, биотектура, биоурбанизм, архитектурная бионика и другие, которые за основу брали биологические процессы формообразования и жизнедеятельности организмов. Их доктрины выражают сущностные процессы современности, связанные с экологическим и энергетическим кризисом, они являют собой определенный этап в двухвековом развитии органической архитектуры.

ИНЖЕНЕРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Другая линия предпосылок развития теории архитектурной бионики — инженерно-биологическая, которая нашла отражение в работах как инженеров, так и биологов и во многом способствовала становлению архитектурной бионики.

Изучение живой природы со строительными целями мы встречаем еще в знаменитом труде Витрувия. Но наибольший интерес к механическим и изолирующим свойствам живых организмов, судя по имеющимся литературным источникам, начал проявляться с накоплением материала по естествознанию примерно с XVI—XVII вв.

Галилей в своем сочинении "Diskorsi e demonstrationi matematiche intorno a due nuovi Scienze" ("Дис-

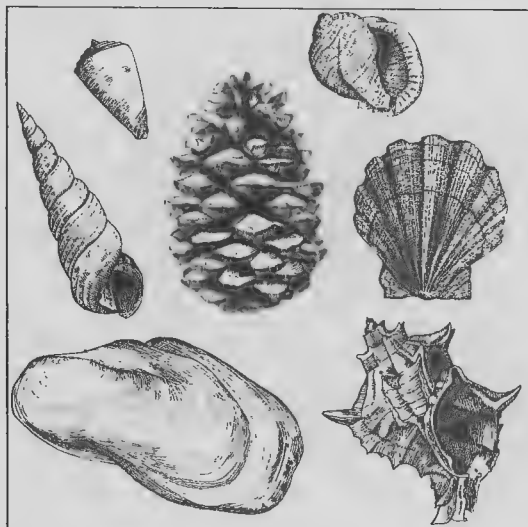
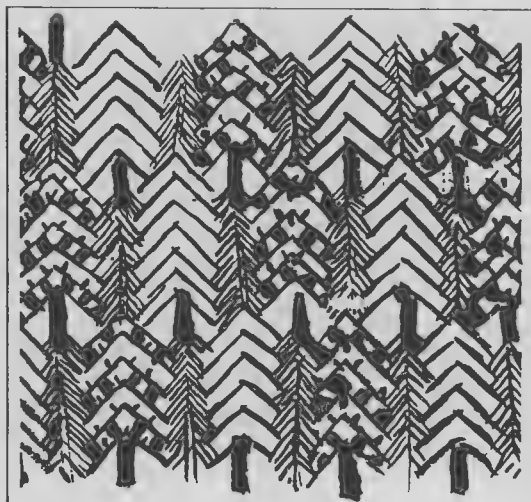
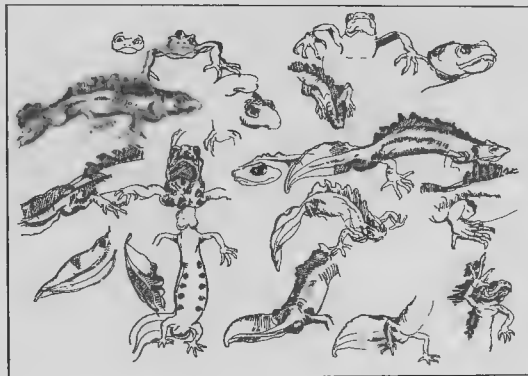


Рис. 30. Ле Корбюзье. Исследование природных форм

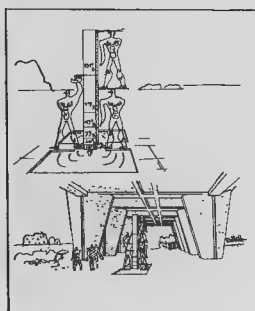


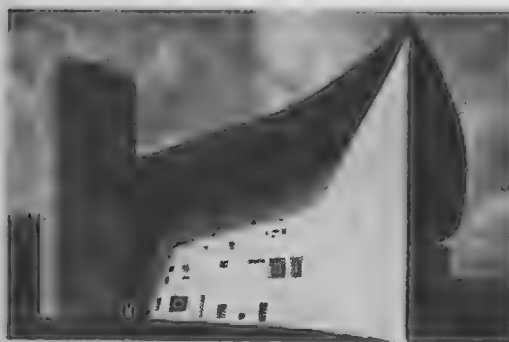
Рис. 31. Ле Корбюзье. Проект застройки г. Алжира (мекет). 1930-е гг.

Рис. 32. Ле Корбюзье. Модуль, 1940—1950-е гг.

Рис. 33. Ле Корбюзье. Капелла Роншан близ Бельфор, 1950—1955 гг.

Рис. 34. Ле Корбюзье. Павильон Филиппс. Брюссель, 1958 г.

Рис. 35. Ле Корбюзье. Дом культуры и молодежи в Фирмини, 1961 г.



куссия о двух новых науках с демонстрацией математических доказательств”), написанном в 1638 г., исследует вопрос о сопротивлении материалов и приводит примеры использования материала природой в этом значении. Основываясь на выведенных им формулах сопротивле-



ния балки изгибающему (и ломающему) действию собственного веса (которыми пользовались при расчетах до XIX в.), Галилей приходит к выводу, что как живой организм, так и предмет, созданный техникой, являются при одинаковом материале и при сохранении одинаковых пропорций размеров (т.е. при соблюдении геометрического подобия) тем менее прочными, чем они крупнее: “... дуб в двести локтей вышины не мог бы поддерживать ветвей своих при условии подобия с дубом средней вышины”. Он говорит о том, что природа в применении количества материалов имеет свои границы. Даже в условиях тропиков имеются какие-то пределы размеров представителей растительного мира. Галилей обращает внимание и на то, что организм в воде подвержен ослабленному действию сил тяжести и поэтому может достигать больших размеров, чем организм на суше.

Он выводит закон о рациональной конфигурации балки: "сопротивления двух цилиндров" (механическим нагрузкам), построенных из равного количества одинакового материала, но из которых один полый, а другой сплошной находятся между собой в таком же отношении, как их диаметры. У полых балок "без увеличения веса значительно возрастет сопротивление. . . . Если бы соломинка злака, поддерживающая колос, более тяжелый, нежели весь стебель, была произведена при том же количестве материала, но была бы сплошной, то она явилась бы гораздо менее сопротивляющейся изгибу и излому".

Вопросами целесообразных конструкций в природе в XIX в. занимался Неемия Грю¹, пользуясь в своей работе также достижениями в ботанике Роберта Гука². Он говорил, что конструкция соломины ржи круглой и полый служит для того, чтобы сделать ее прочной. Интересно его высказывание по поводу конструкции ствола дерева.

Он рассматривал также вопрос о прочности листовых черешков в связи с их формой и расположением в них механических волокон (своеобразной арматуры. — Ю.Л.). Он указывает далее на различие в строении стебля и корней, последние из которых работают не на сжатие, а в основном на растяжение.

В конце XVII в. и на протяжении XVIII в. соображения о функциях обеспечения физико-механической прочности растения и его частей ограничиваются почти исключительно указанием на роль корней по закоренению растений (Мальпиги)³. Некоторые ученые проводят аналогию, хотя и не всегда решительно, между скелетом млекопитающих и устройством "скелета" растений. Ж.Сенебье⁴ разбирает роль различных тканей, способствующих механической прочности растения, говорит также и о цилиндрическом строении стебля.

После опубликования труда Ч. Дарвина "О происхождении видов" (1859 г.) возобновляется интерес к проблеме целесообразного в жизни организмов. Ф.Мюллер⁵ проводит аналогию между стеблями и канатами. Особенно значительны в этой области и во многом полезны для нашего времени (например, в области системологии) работы английского инженера, философа, биолога Герберта Спенсера⁶ и швейцарского биолога, инженера Симона Швенденера (1829—1889).

Г. Спенсер в книге "Основания биологии" (1864), говоря о зависимости между ростом и сопротивляемостью растений физико-механическим воздействиям среды, высказывает мысли, в некоторых аспектах сходные с мыслями Г. Галилея (по поводу роста организмов в различных средах).

"Естественный отбор благоприятствует наиболее отвесно растущим формам" — говорит Спенсер; следовательно, идет борьба за укрепление отвесного устойчивого положения: закручивание стебля (спираль) у ягелей и печеночника — это начало образования цилиндра. По мере увеличения высоты растения поддерживающая часть или увеличивается в объёме, или делается плотнее, или одновременно и то и другое (папоротники, имеющие сосудистые пучки и твердые ткани, похожие

на древесину). Далее Спенсер пишет: "Если плотное вещество, способное противодействовать этим растяжениям и сжатиям, отлагается там больше, где они значительнее, то мы вправе ожидать, что это вещество примет форму цилиндрической обшивки".

У листа, по мысли Спенсера, растущего вертикально, в черешке, который "работает" на продольный изгиб, механические волокна распространены по периферии по замкнутой окружности поперечного разреза черешка; у листа, растущего наклонно, в черешке механические волокна расположены в местах, "работающих" на изгиб.

Великий русский ученый К.А.Тимирязев обращает особое внимание на интересные конструктивные качества растений. В 1890 г. он в своей речи "Факторы органической эволюции" говорил: "Роль стебля, как известно, главным образом архитектурная: это твердый остоу всей постройки, несущей шатер листьев, в толще которого, подобно водопроводным трубам, заложены сосуды, проводящие соки. . . . Именно на стеблях узнали мы ряд поразительных факторов, доказывающих, что они построены по всем правилам строительного искусства" [34].

Рождение новой строительной техники в XIX в. заставило активизироваться и инженерную мысль в области изучения конструкций живой природы, в которой инженеры увидели большие перспективы для развития строительной техники, соответствующие новым ее возможностям (некоторые биологи также специализировались на исследовании этого вопроса).

Симон Швенденер стал основателем учения об архитектонике растений¹. Он подошел к этому вопросу как инженер, применяющий свои знания к раскрытию механической работы растений. В своей книге "Das mechanische Prinzip im anatomischen Bau" ("Принципы механики в живых структурах") (Leipzig, 1874) он пишет: "Растение строит себя, несомненно, по тем же правилам, по которым и инженеры строят здания, но только его техника гораздо тоньше и совершеннее. . . . Кроме более тонкой техники "самопостроения", растительный мир располагает лучшим строительным материалом: целлюлоза гораздо легче, чем мягкая сталь, не уступает ей по прочности в пределах упругости".

Советские ученые биолог В.И.Талиев и инж. В.Ф.Раздорский не только развили учение С.Швенденера, но и поставили его на новую ступень, связав с шагнувшим далеко вперед строительно-техническим делом. Их труды, написанные в духе материалистического понимания связей живой природы с инженерным делом, представляют собой синтез инженерно-строительной и биологической наук [35, 36]. Эти работы стали одним из источников развития в Советском Союзе теоретических взглядов в области конструктивного раздела архитектурной бионики². Интерес к бионическим конструкциям не был потерян и периодически пробуждался в делах и мыслях советских инженеров (проф. И.П. Прокофьев, проф. Н.В.Никитин и др.) (рис. 36—38). Прокофьев, например, в свое время говорил, что позвоночник лошади — интересная балка, которая ждет своего исследователя.

Исторический очерк показал, что архитектура всегда содержала в себе проблему органической (зачатки бионической) связи с природой. Не случайно известный швейцарский историк и теоретик архитектуры Зигфрид Гидион, разделяя в архитектуре "организующие" и "преходящие" элементы, отнес "взаимосвязь архитектуры и человеческого жилища" (понятие которого вполне можно в данном контексте расширить) к "организующим элементам" [36, с. 38].

В отношении связи архитектуры и живой природы нельзя сказать: она может быть или может не быть.

¹ Н. Грю (1641—1712) — английский ботаник.

² Р. Гук (1635—1703) — английский естествоиспытатель и теоретик строительной механики.

³ Мальпиги Марчелло (1628—1694) — выдающийся итальянский биолог и анатом.

⁴ Сенебье Жан (1742—1809) — швейцарский ученый, один из основоположников физиологии растений.

⁵ Мюллер Фриц (1821—1897) — немецкий зоолог и эмбриолог.

⁶ Спенсер Герберт (1820—1903 гг.) известен как один из основателей позитивизма, видный представитель органической школы в социологии. Переносил биологическое учение о борьбе за существование на историю человечества.

¹ Архитектоника в данном случае — не совсем точное название данного направления науки, так как предметом науки была строительная техника природы.

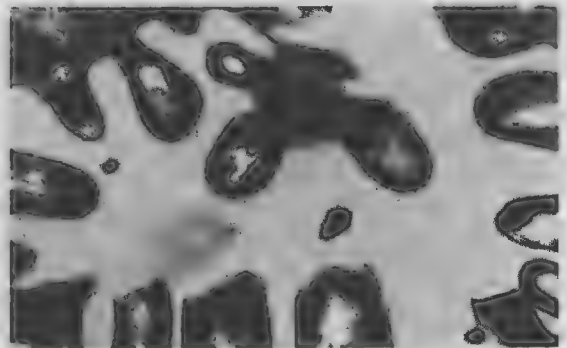
² Автор исследования использует указанные труды в своей работе.



Рис. 36. Телевизионная башня в Останкине, Москва, 1967 г. Инж. Н.В. Никитин. Архитекторы Д. Бурдин, Л. Баталов, В. Милашевский (фото Л. Кучинского). Природный аналог — ствол сосны (фото Ю. Лебедева)

Рис. 37. Валотрек в Крылатском, Москва, 1980 г. Архитекторы Воронина Н.И., Осипенников А.Г., Гагкаев А.К. и др. Конструкторы Ханджи В.В., Родиченко Ю.С., Бородин В.А., Лисицын И.В., Савицкий М.В. Лист дерева вяза (фото Ю. Лебедева)

Рис. 38. Универсальный спортивно-концертный зал в Ленинграде, 1980 г. Элемент натяжения у опор кровли из стальной мембраны (фото Ю.С. Лебедева) и природная мембрана, развивающаяся по принципу формирования минимальной повархности



Эта связь неизбежна. Живая природа, как в биогеоценозе, так и в отдельных ее проявлениях является частью архитектуры, а архитектура — частью природы. Даже в том случае, когда архитекторы создавали, казалось бы, далекую по форме от живой природы архитектуру (например, работы Мис ван дер Роэ), они держали в своем сознании идею ее художественно осмысленного противопоставления живой природе, что является обратной стороной того же самого вопроса взаимосвя-

зи архитектуры и живой природы и ведет в итоге к синтезу с ней. Создавая геометрически четкие прозрачные формы из стекла и металла, Мисс ван дер Роэ, например, тесно связывал интерьер с экстерьером — с природным окружением. И в принципе он не отрицал такую связь, а наоборот, стремился к ней. Не случайно он писал: "Все больше и больше овладевает бетон и сталь современным строительством. В связи с этим все больше желание людей внести в свой интерьер кусочек природы... Древний, созревший в свету, на солнце, в воде кусочек дерева..." [38].



Рис. 39. Модель памятника.
Инж. Э. Торроха (Испания).
Общий вид

Проблема взаимосвязи архитектуры и живой природы в течение веков осмысливалась теоретически. Однако научной, последовательно методической основы связи архитектуры с живым миром не было создано. Архитектуре, биологии, строительная техника, овладение законами гармонии живой природы шли своими путями в деле познания биоструктур. Они могли сойтись (не случайно) на новом уровне развития науки и техники.

Но история накопила богатый материал и выразила свое отношение к связи архитектуры, техники и природы. Она подготовила рождение архитектурной бионики.

История заложила основы и той структуры архитектурной бионики, которая совершенствуется и развивается в наше время, а именно:

- 1) исследование организации функционирующего пространства (формы) архитектуры;
- 2) изучение конструктивно-тектонических систем живой природы и "технологии" их формирования (в том числе и новых эффективных свойств строительных материалов);
- 3) разработка вопросов, связанных с организацией архитектурно-природной среды (экологический аспект);
- 4) эстетическое освоение законов живой природы и гармонии в архитектуре [39].

О содержании этих направлений будет более подробно сказано далее.

Остановимся кратко на причинах возникновения архитектурной бионики в современной (хронологически) архитектуре.

Не очень легко установить временное начало появления таких архитектурных форм, в которых бы зазвуча-

ли бионические идеалы. Однако после архитектуры модерн, где живая природа находила свое выражение не только в отдельных элементах зданий, но часто и в их материально-конструктивной и функциональной структурах, наступила в этой сфере полоса практического затишья, но не бездействия. Шло накопление материала. Этот материал в произведениях различных мастеров использовался, как известно, по-разному и в разное время. Особым путем развивалась "органическая архитектура" и ее ветви.

Перед второй мировой войной имели место отдельные проявления практической бионики: радиобашня В.Г.Шухова в Москве (1921); купол Планетария в Москве (1929), конструируя который авторы использовали геометрию формы скорлупы птичьего яйца; трибуны ипподрома в Мадриде и другие архитектурно-конструктивные формы, созданные испанским инженером-архитектором Э.Торрохой в 1930-х гг. (рис. 39) и "по своей конструкции напоминавшие органические элементы природы" и т.д. [37].

Бионические принципы в архитектурной практике ярче проявились в послевоенный период, в конце 40-х годов (работы итальянского инженера П.Л.Нерви). Тогда возникла особая необходимость поиска таких конструктивных решений, которые дали бы при большой экономии материала и облегченной массе конструкции максимальный эффект прочности, устойчивости, надежности (принцип мини-макса) и одновременно красоты. П.Л.Нерви своими произведениями убедительно доказал возможность использования законов живой природы (рис. 40, 41). Принцип мини-макса получил особое развитие в работах Ф.Отто (ФРГ) и его учеников в конце 50-х — начале 60-х годов (рис. 42).

Экономия материала в строительных конструкциях и одновременно использование всех их возможностей для перекрытия больших пространств с целью массовых организаций общественных процессов (тенденции демократизации жизни) были ответом на требования послевоенной эпохи.

Оказалось, что многие вопросы архитектуры и конструирования невозможно было решать без помощи живой природы. Сюда относятся использование в архитектуре оболочек-скорлуп со сложными, криволинейными поверхностями, не освоенными математикой; создание сложных комплексных форм с тесно связанными между собой структурными элементами, логику организации которых не придумаешь просто так из головы, а вместе с тем это — формы, хорошо обеспечивающие всеусложняющиеся жизненные процессы. Особенно большую услугу живая природа могла оказать архитектуре в решении проблемы индустриализации и комбинаторики типовых индустриальных элементов (здесь во многом помогли исследования французского инженера Робера Ле Риколе, постройки Б.Фуллера, М.С.Туполева и др.).

Конечно, единению архитектуры и биологии способствовали не только чисто практические соображения. По-видимому, этому способствовали и глубокие психологические факторы. Желание уравновесить нарастающий "вес" техники, индустрии в архитектуре, угрожающий смыть всякие проявления эмоций в эстетизированном контексте архитектуры, также направляли на поиски возможных вариаций форм в живой природе — единственной пока субстанции, не считая искусства, которая смогла гармонично соединить рациональность и красоту, утилитарное и прекрасное.

Тенденции развития архитектурных и конструктивных форм, не связанные с преднамеренным исследованием законов живой природы, вели также на смыкание ("конвергенцию") с формами живой природы. Независимо от воли их создателей они стали напоминать формы и конструкции живой природы, например работы



Рис. 40. Интерьер главного зала Туринской выставки, Италия, 1948 г. Пролет 98 м. Инж. П.Л. Нерви. Природный аналог — лист экзотического цветка Виктории регии (микроструктура)

Рис. 41. Эстакада в Риме, 1950-е гг. Инж. П.Л. Нерви

Рис. 42. Выставочный павильон в Мангейме, 1972 г. Общий вид и интерьер. Архит. Ф. Отто и его школа (ФРГ)



Рис. 43. Оперный театр в Сиднее, 1960-е гг. Архит. Утзон



мексиканского инженера Ф.Канделы, который, по его словам, пользовался аналитическим методом в процессе поиска конструктивных форм и др.

И это тоже понятно — новые произведения ума и рук человеческих функционально стали приближаться к формам живой природы благодаря своему совершенствованию (рис. 44). Вместе с этим процессом углубляется мировоззренческое и образное представление о целостности всей земной системы, о единстве живой природы и архитектуры, обусловленных функциональными (содержательными) элементами сходства. Сов-

ременные законы жизни в связи с ее сильной дифференциацией требуют их комплексного, системного освоения в архитектуре и научной методике. Отсюда и обращение к живой природе, в которой системность, целостность отрабатывались неизмеримо дольше, чем в архитектуре.

Таким образом, проблема экономии, стремление к максимальному эффекту с затратой минимальных средств, необходимость комплексной организации жизни и создание гармонично развивающейся эстетически полноценной материальной среды, к которой была бы подключена и биосфера, наличие технических средств реализации идей на практике заставили зодчих обратиться к живой природе.

В Советском Союзе в связи с плановым ведением хозяйства и тенденцией градостроительного подхода к решению вопросов архитектуры существует благоприятная почва для использования всех тех преимуществ, которые может дать архитектурная бионика. Особо это касается следующих, еще не получивших своего полноценного воплощения в архитектуре и градостроительстве моментов:

- 1) единства формирования всех сторон архитектуры — функции, конструкции, технологии, экономики, эстетики и т.д.;
- 2) комплексного управления развитием градостроительства и архитектуры с использованием принципа обратной связи и средств электроники;
- 3) создания научной основы для прогнозирования развития градостроительства и архитектуры;
- 4) организации гармоничной искусственной и природной среды. И еще один важный вопрос, который можно выделить специально, — это преодоление элементов однообразия массовой застройки.



Рис. 44. Мост в Потенце, 1970-е гг. Инж. С. Мусмечи.

Массовая застройка является проявлением высочайшего гуманизма процесса демократизации. Элементы же ее однообразия — это следствие далеко несовершенной индустриальной базы строительной технологии. Думается, что и в этом вопросе архитектурная бионика может оказать существенную помощь.

Внутренний, сложный процесс формирования системы живой природы отражается на ее формах, приобретающих "тонкую" филигранную структуру своего строения, что, к сожалению, редко можно сказать о современных нам архитектурных формах. Наслаждаясь красотой природных форм, трудно представить, что она является производной в основном утилитарных процессов, происходящих в живой природе.

Думается, что одной из причин упрощенности современных архитектурных форм служит недооценка влияния объективных факторов, формирующих архитектуру, на ее эстетические свойства. Без глубокого освоения функционально-утилитарного содержания архитектуры, воплощающего всерастущее разнообразие потребностей человека и образного представления о мире общественном, живом и физическом, вряд ли можно говорить и о высоком художественном содержании архитектуры. Эта мысль не отрицает подключение субъективного механизма архитекторов, ассоциирующих значительно шире духовный мир и выводящий архитектуру из сферы ее внутренних потребностей на арену большого искусства.

Немалую роль теоретические и практические результаты в области архитектурной бионики могут сыграть в укреплении позиций архитектурной теории и ее понятий. Архитектурная бионика способствует также совершенствованию методов анализа и оценки процессов, происходящих в архитектуре.

НАТУРАЛИЗМ ИЛИ РЕАЛИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД?

Архитектурная бионика продолжает традиции теоретической школы советской архитектуры и учитывает предбионические идеи таких ведущих советских архитекторов 20—40-х годов, как И.В.Жолтовский и М.Я. Гинзбург, а также молодых в ту пору архитекторов Н.Б.Соколова, Н.А.Красильникова и других [33].

Зарубежные архитекторы в последние два-три десятилетия достаточно часто обращались к законам живой природы, что давало и дает подчас интересные результаты (работы П.Л.Нерви, Ф.Отто, Р. Ле Риколе, Р. Саржера и др.).

Однако в целом обращение к законам живой природы, не поддержанное четкой и последовательной философской концепцией, открыло дверь двум, казалось бы на первый взгляд, исключаящим друг друга теори-

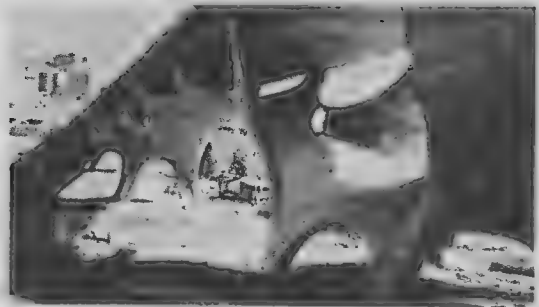


Рис. 45. Галерея Пегги Гуггенхейм. Ф. Кизлер. Конкурсный проект. План. Нью-Йорк, 1942 г. (рис. Ю. Лебедева)

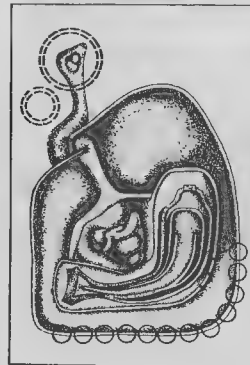


Рис. 46. Город "Аквилла". Построен по подобию структуры жилкования листа дерева (формалистические использование явлений живой природы в градостроительстве). Архит. П.-Ж. Грийо, 1960-е гг. (Франция).

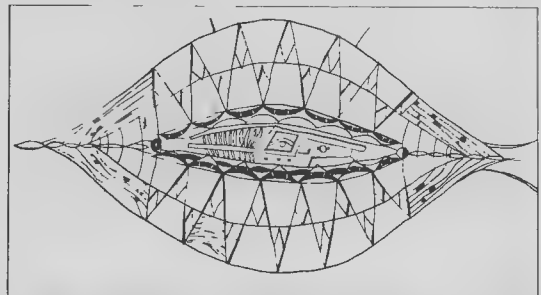
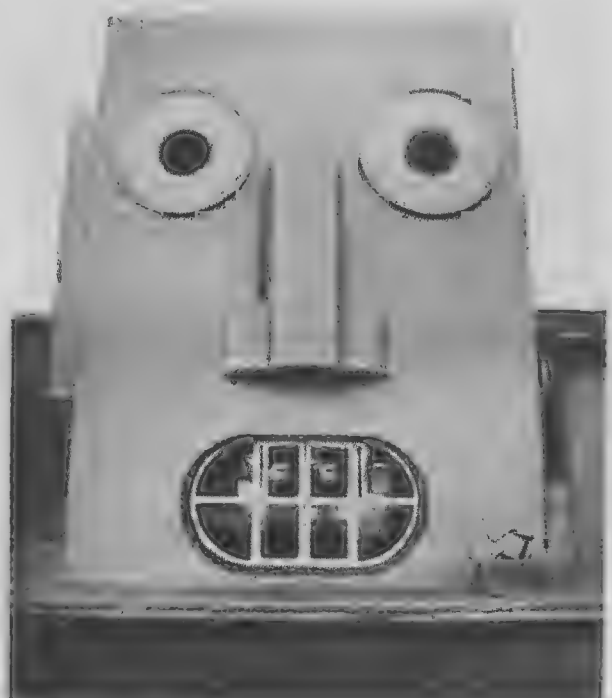


Рис. 47. "Дом-лицо". Архит. К. Ямасита, 1974 г. (Япония)



ям, которые отражают бытующие в буржуазной философии точки зрения [40].

Первая теория — обвинение научно-технического прогресса во всех социальных бедах капиталистического общества. Она призывает к уходу в живую природу, к первобытному состоянию жизни и выражается в односторонне-экологическом — “биоструктуральном” подходе к строительству. Его выразителем является Р.Дорнах (ФРГ), занимающийся разработкой методов “выращивания полезных структур” — “агротектуры” [41].

Вторая теория, наоборот, делает ставку исключительно на научно-технический прогресс как средство разрешения противоречий капиталистического общества. В живой природе архитекторы и теоретики архитектуры, придерживающиеся этой философской концепции, видят только один смысл — использование лишь “техники” (технологии) живой природы в архитектуре. Примером может служить технологическая архитектура Вольфа Хильберца и Глена Смолла (США), биохимическая архитектура Уильяма Катаволоса (Англия) и др.

И в том, и в другом случае вопросы эстетики (а с ними и проблемы идеологии) просто игнорируются. Красота форм зодчества будто бы возникает стихийно — как в живой природе. Теория же архитектурной бионики специально акцентирует внимание на том, что между красотой форм живой природы и использованием ее законов в архитектуре стоит глубокий творческий процесс, управляемый человеком с его общественной идеологией.

Однако дезорганизованность концепций “биотектуристов” и им подобных теоретиков кажущаяся. В искусстве архитектуры эти концепции фактически ведут к рождению беспринципности в идеологии.

Особенно ярко это выразилось в рецидивах натурализации, часто механического, эстетского подражания формам живой природы в архитектуре: галерея Петти

Гуггенхейм Ф. Кизлера в виде громадного желудка животного, структура города по подобию формы листа дерева и его нерватуры П.-Ж. Грийо, дома-почки и гланды А. Квормби и т.д. Потеря чувства национального также характерна для этого направления (рис. 45—47).

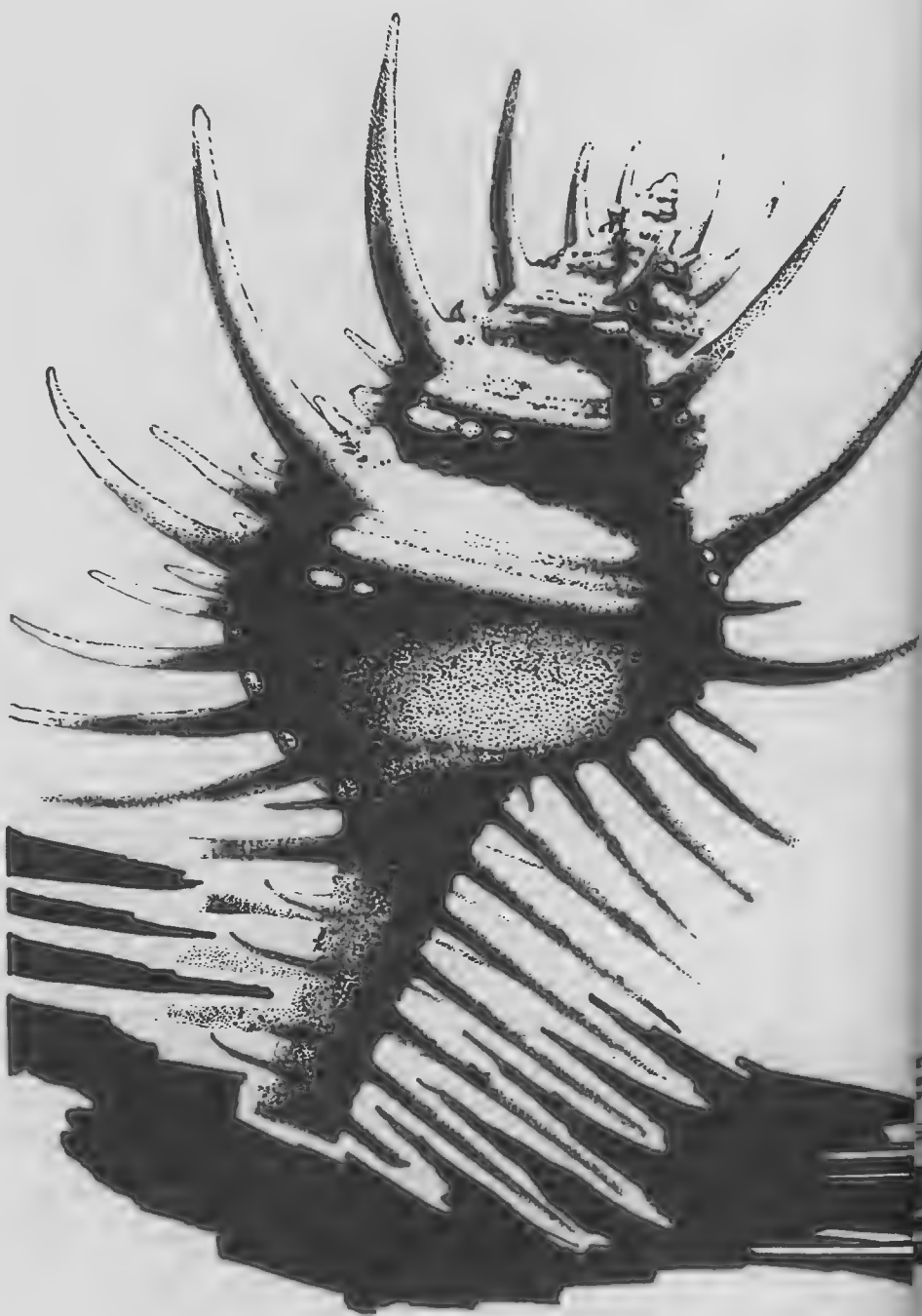
Указанные направления, страдающие общей болезнью — односторонностью подхода, — противоречат основному, системному закону развития форм живой природы и архитектуры.

В наше время в условиях широкой индустриализации строительства и научно-технического прогресса существует опасность преувеличения роли техники в архитектуре. Поэтому особое значение для повышения социальной ценности архитектуры и преодоления в общем вредной тенденции безликости “международного стиля” приобретает комплексный метод — взаимоувязанное решение вопросов архитектуры с учетом всех формообразующих и особенно эстетических факторов архитектуры.

Архитектурная бионика, противодействуя эстетскому натурализму, призывает и в этом случае к творческой переработке законов красоты живой природы в архитектуре с учетом ее национальных особенностей, не противоречащих и “общечеловеческим” законам ее развития (как, например, многие объекты народной архитектуры разных стран).

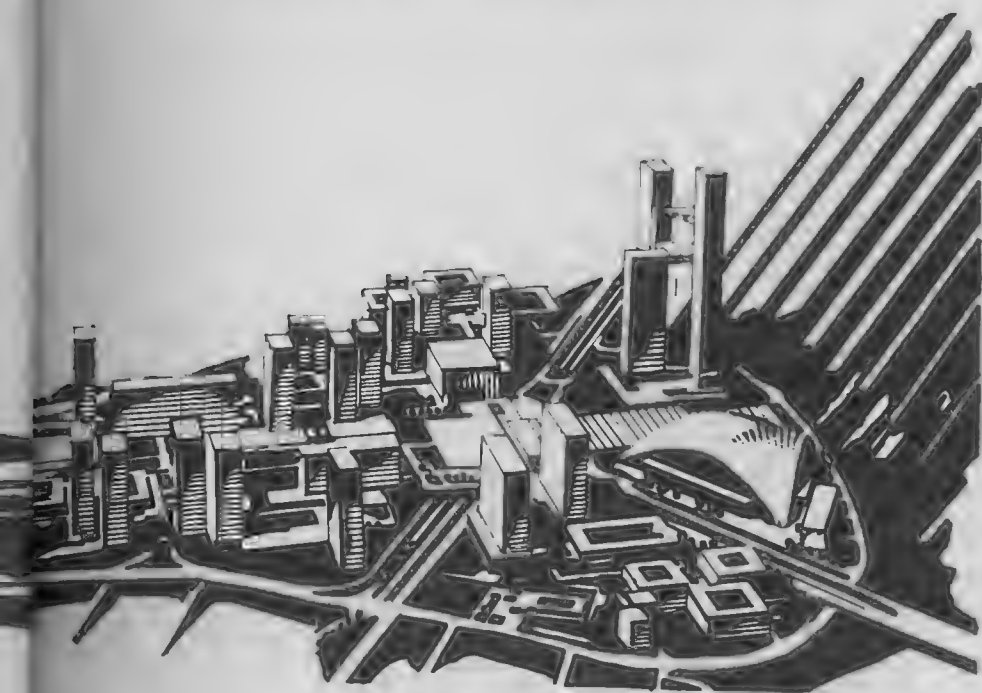
Конечно, любое использование эстетических потенций природной гармонии не исчерпывает возможностей художественно-образной выразительности, которая должна быть присуща зодчеству¹, но возможности архитектурной бионики и здесь только начинают исследоваться и использоваться.

¹ Об этом подробнее см. в брошюре В.И. Рабиновича “Художественные проблемы архитектуры”. М., Знание, 1972.



Глава 2

МЕТОД
АРХИТЕКТУРНОЙ
БИОНИКИ
-МЕХАНИЗМ
ПОЗНАНИЯ
И ПРАКТИЧЕСКОЙ
РЕАЛИЗАЦИИ
ВЗАИМОСВЯЗИ
АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИВОЙ ПРИРОДЫ



Исторический подход к изучению живой природы с архитектурными целями изменялся в соответствии с потребностями и переменами в стилевых направлениях архитектуры. Как выглядит метод архитектурной бионики сегодня?

Представьте себе раковину в руках архитектора. Если ее увеличить в тысячу раз, она чем-то напоминает архитектурные формы — покрытие над большим стадионом, цирком, концертным залом: такое же складчатое образование, но чем-то неуловимым привлекательнее, изящнее, живописнее. В чем дело? Почему раковина кажется совершеннее по форме, чем покрытие над стадионом? Нельзя ли эту красоту перенести в архитектуру? А может быть, за этой красотой, за этой гармонией скрывается и что-то полезное? Вполне возможно! В живом мире — множество интересных форм, но как к ним подойти, с чего начать, чтобы обнаружить, изучить, оценить и правильно использовать то, что нам нужно, что полезно для архитектуры? На эти вопросы должна ответить архитектурно-бионическая методика исследования природных форм.

Метод архитектурной бионики — это своеобразный "механизм", который помогает, с одной стороны, сделать эффективными научные результаты архитектурно-бионических исследований, что способствует их быстрой реализации в архитектурной практике, с другой, формирует основу для преодоления встречающихся различных извращений, дискредитирующих архитектурно-бионические идеи.

Что же мы подразумеваем под методом? Об этом нужно заранее сказать в связи с наличием различных его трактовок.

Известно, что метод, взятый на вооружение для достижения той или иной поставленной цели, — это порядок действия, отражающий (но не копирующий) суть исследуемых процессов, их содержание. Содержание контролирует также границы метода.

Метод — это система с обратными связями: содержание явления — механизм метода. Отсюда, чем глубже познаются явления, тем совершеннее становится метод: метод динамичен и не может быть догматизирован.

А вот что говорил по поводу взаимосвязи содержания и метода великий немецкий поэт, философ, натуралист Гёте: "Метод без содержания ведет к пустому умничанию. Содержание без метода — мечтательство".

Вместе с тем метод не тождествен содержанию (и по методу нельзя давать определение науке, хотя сам метод может стать объектом науки).

Об этом, на ошибку, например Н.Винере, пишет М.Сетров: "...создав абстракцию машины и обнаружив, что под эту абстракцию подходит организм, некоторые кибернетики заявляют, что между машиной и организмом нет разницы, имея в виду при этом уже конкретную машину" [12].

Метод в отличие от объективного явления, например живой природы, — всегда абстракция. Следовательно, не научной была бы трактовка объективных законов развития живой природы, как "метода развития". Такое понимание возможно лишь в смысле абстрагированного человеческого мышлением действий законов развития живой природы.

Метод архитектурной бионики, как, впрочем, и сама бионика, историчен. Вначале люди познавали внешние (общие) признаки явления, отсюда на заре формирования человечества появляется в архитектуре, как уже говорилось, подражание формам живой природы и строительной деятельности животных. (Возможно, это было и не подражание, а проявление сходной с животными сущности человека, однако, суть дела от этого не менялась.)

В египетской архитектуре отмечалось активное применение законов образования форм живой природы (цветы и стебли растений папируса, лотоса в капителях и



колоннах), например, с изобразительными целями. Позже зодчие Египта, а затем и античной, Древней Греции стали осваивать природные формы, имея в виду не только изобразительные, но и конструктивные задачи. Иначе говоря, они стали глубже проникать в процессы живой природы.

Взять, например, историю изучения скорлупы куриного или вообще птичьего яйца. К ней обращались еще в старине. Известный зодчий ренессансного Возрождения Брунеллеско, создавая купол Флорентийского собора, освоил законы геометрии скорлупы яйца. Одновременно через геометрию он перебросил мостик к его конструкции, к тектонике, т.е. освоил красоту механической работы конструкции (рис. 1).

То же самое произошло при проектировании Плана-тария в Москве (рис. 2): архитекторы М.Барщ и М.Синявский использовали природную форму яйца в геометрически-тектоническом плане (1927—1929).

В настоящее время бионики, изучая форму птичьего яйца, переходят к более глубокому анализу. Они проникают в происхождение "технологии" производства и пытаются решить вопросы — откуда такая форма, с чем она связана? А производство яйца есть как бы миниатюрная фабрика, на конвейерной линии которой создаются в единстве форма, конструкция и функции живого организма. Принципы производства яйца пыта-



Рис. 1. Скорлупа яйца — использование конструкции и формы. Скорлупа яйца и купол Флорантийского собора Санта Мария дель Фьоре, 1420—1434 гг. Архит. Брунеллески

Рис. 2. Купол планетария в Москве, 1929 г. Архитекторы М. Барщ и М. Синяевский (фото Л.В. Кучинского)

ются изучить инженеры, чтобы затем внедрить их в технологию производства строительных конструкций.

Изучается структура скорлупы яйца. Оказывается, что она состоит из семи слоев. Каждый слой имеет свое функциональное назначение. В результате — скорлупа яйца предохраняет живой, развивающийся организм от различных неблагоприятных атмосферных воздействий. В то же время она позволяет зародышу потреблять необходимую норму влаги, ассоциированной из атмосферы, дышать, осуществлять обмен веществ и т.д. Скорлупа не пропускает снаружи воду, но в обратном направлении способна отдавать излишки влаги — она дышит. Здесь — полупроводниковый принцип. Вот так в комплексе изучается эта форма. Не только ее геометрия, красота, но и технология, конструкция и другие принципы ее формообразования. На базе этих знаний совершенствуется и метод исследования птичьего яйца и других природных структур.

В наше время есть тенденция привлечь в архитектуру для решения ее творческих проблем методы точных наук, например математики и кибернетики. В принципе это не противопоказано, так как трудно резко отделить одно явление в мире от другого. Но здесь не может быть подмены этими методами собственно творческого метода в архитектуре, а отдельные попытки такого рода

существуют¹.

Каждый сформировавшийся метод, касается ли это науки или художественного творчества, имеет тенденцию не к выходу в другие области знания и деятельности, а к "эгоцентризму", к совершенствованию самого себя.

Однако существуют методы, ближе или дальше отстоящие один от другого. В этом отношении метод архитектурной бионики весьма близок к методу архитектурного творчества, поскольку они связаны между собой весьма родственными процессами формообразования. Кроме того, здесь помогает и синтетичность архитектурной бионики, имеющей дело с комплексными, сгармонизированными системами живой природы, в которой неразрывно слились физические свойства структур с функцией жизнедеятельности и с красотой ее форм. Оценка последней связана с исторически закономерным процессом эстетического освоения человеком форм живой природы и использование законов красоты живой природы в различных областях творческой деятельности человека.

Границы метода также определяются содержанием явления и исторической возможностью его изучения. Отсюда и опасность забегания вперед. По этому поводу известный американский ученый-биолог Мартека в книге "Бионика" говорит так: "Каждая новая идея похожа на испуганную лошадь. Если хоть чуть-чуть отпустить поводья, лошадь может понести. Имея дело с новыми идеями, необходимо сохранять трезвость суждения и здравый смысл" [3]. Иначе говоря, понимать исторические границы явления.

Каждая методика должна решать вопрос, куда и зачем стремиться, какова цель исследования. Целевую

¹ В данном случае творческий метод понимается как средство решения творческих задач архитектуры.

установку можно охарактеризовать так: если содержание — стержень, то цель — это ядро метода, его “идеология”, его “политика”.

Целевую установку архитектурной бионики определяет архитектура, организация архитектурной среды.

Архитектура, представляя собой многостороннюю область общественной практики, объединяет материальную и духовную культуру, включая искусство.

Основное назначение архитектуры — это создание материально организованной пространственной среды, функционирующего пространства, “сферы действия” для разных социальных процессов — труда, быта, культуры. Отсюда и специфика освоения в архитектурной бионике пространственной организации и принципов функционирования форм живой природы (например, в отличие от биологии, биохимии, технической бионики и т.д.).

Архитектура оказывает большое воздействие на людей: этим определяется ее идеологическое значение, которое также учитывается при создании архитектурных сооружений и проявляется не только в ее социально-утилитарном, но и в художественно-эстетическом и композиционном качествах. В связи с этим возникает одна из важнейших методических задач архитектурной бионики — решение ее эстетических проблем, которые мы рассмотрим ниже.

Требования, предъявляемые к архитектуре, включают в себя наряду с удобством и красотой также техническую целесообразность и экономичность зданий. Технический аспект — один из важнейших в архитектурной бионике, но в противовес развивающейся в науке технической бионике он не является самодовлеющим.

Архитектурно-бионический метод подчинен, как уже говорилось, в первую очередь социально-функциональной организации архитектурных форм. Техника же здесь выступает в качестве средства реализации этой задачи. Однако нельзя преуменьшать роль техники и в формообразовании архитектуры: заимствованные из природы “технические” средства — строительные материалы и конструкции — включаются непосредственно в архитектурную форму и таким образом существенно влияют на ее пространственную организацию, ее художественно-эстетические свойства.

Рассматриваемая здесь как цель архитектура (представленная в виде теоретической модели) служит подобием матрицы для получения комплектарной модели архитектурной бионики, в которой происходит процесс репликации — восстановления структуры архитектуры и содержания ее метода (подобный процессу репликации ДНК)¹.

В итоге архитектурная бионика, как небезосновательно утверждают, не техническое направление в науке, а ее метод, как метод архитектуры — не технический. Он подразумевает не только инженерное творчество, но и создание художественно-осмысленных, социально-функциональных пространственных систем архитектуры. Поэтому его нужно заранее программировать как метод научно-художественного творчества. Эта черта и есть собственно отражение специфики архитектурного творчества.

С точки зрения методической, архитектура направляет, ориентирует, диктует метод архитектурной бионики, но не всецело детерминирует его специфику. А, как известно, именно в специфике заключается ценность и оригинальность каждого научного метода.

Специфика метода архитектурной бионики и его ре-

зультатов в архитектуре (в пределах архитектурного метода) возникает на стыке архитектурной и биологической наук, на стыке познания законов развития архитектуры и живой природы и вытекает из соотношения этих систем или подсистем, если их рассматривать в системе архитектурной бионики. Специфика метода последней рождается в результате разрешения диалектического противоречия между общественным (архитектура) и биологическим (живая природа) характерами этих явлений.

Может возникнуть вопрос вообще о возможности совмещения общественных и естественных явлений. Однако, например, наш современник М. Розенталь, анализируя работы В.И. Ленина о диалектике, говорит: “Вместе с тем, по мысли Ленина, речь идет о тесной связи естественных наук с общественными науками, подчинении сил природы с преобразованием общества, ибо в конечном счете революция в естествознании и социалистическая революция представляют собой в современную эпоху звенья единого процесса, который должен способствовать освобождению человечества от господства слепых сил природы и общества” [4].

Важнейшая методическая задача в проблеме установления связей между процессами живой природы и общественными (архитектурой) — выбор такого уровня и таких средств, которые помогли бы преодолеть указанное противоречие.

Таким уровнем может быть рассмотрение архитектуры и живой природы в качестве целостных, динамически развивающихся информационных (а не физических — энтропийных) систем. Отсюда — необходимость использования механизма системно-структурного анализа, органически входящего в метод бионики. Напомним, что системно-структурный анализ, исторически сформировавшийся на основе изучения именно законов живой природы (А. Богданов, Л. фон Берталанфи), дает возможность: а) абстрагироваться от конкретных типологических и видовых признаков архитектуры и живой природы; б) соотносить принципы функционирования и формирования структур в их развитии. Эту сторону метода можно характеризовать как аналитическую, абстрактную, в которой предметом исследования являются не конкретные взаимодействия вещей, а абстрактно выделенные взаимодействия их отдельных свойств, в основном принципов (принципы компенсации и корреляции средств функционирования “гибкости”, динамичности и т.д.). При таком подходе в основе выделенных для сравнения системы или подсистем должны лежать качественно однородные законы.

Само изучение системно-структурных принципов живой природы в архитектурной бионике (архитектура — живая природа) имеет непосредственный практический выход на архитектуру, заключающийся в использовании выработанных живой природой в течение миллионов лет законов и механизмов формирования высокоорганизованных систем, а на этой основе — объективных законов гармонии в филогенезе и онтогенезе (принцип совершенствования, соотношения структур и функций, саморегуляции и т.д.)¹.

Однако архитектурно-бионический метод нельзя ограничивать применением лишь механизма системно-структурного анализа и выходом на абстрагированный уровень формообразования. Это значило бы выхолащивание “души” архитектурной бионики, чувственного восприятия и творческой переработки в архитектуре конкретных свойств живой природы.

Как в архитектуре, так и в живой природе формы конкретны. Поэтому при переходе от природных форм к архитектурным необходимо от общего переходить к

¹ Из ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) состоят гены, содержащие наследственную информацию и расположенные в хромосомах.

¹ Филогенез — формирование объектов живой природы в процессе ее эволюции; онтогенез — формирование объектов живой природы в процессе их роста.

конкретному, частному, к исследованию богатства и разнообразия форм мира живой природы и архитектуры в их конкретном проявлении.

В.И. Ленин в "Философских тетрадах" так прокомментировал слова немецкого философа Гегеля о соотношении всеобщего и индивидуального: "Прекрасная формула: "Не только абстрактно всеобщее, но всеобщее такое, которое воплощает в себе богатство особенного, индивидуального, отдельного" (все богатство особого и отдельного!!!) Очень хорошо!" [1].

Такой подход нацеливает и на специфичное для архитектурной бионики отражение объекта в виде физических моделей, в которых можно воспроизвести общие принципы построения моделируемого объекта в конкретной форме (образцами такого моделирования, собственно, служат и архитектура, и живая природа). Подтверждает этот факт и архитектурно-бионическая практика, хотя бы тем же использованием не только общих, системных законов живой природы, но и их проявлением в конкретных формах. Отсюда своеобразие архитектурно-бионических форм, их сходство (но не тождество) с формами живой природы. Яркие примеры тому — главный зал Туринской выставки и аудиенцзал в Риме (инж. П.Л. Нерви); Олимпийский комплекс в Мюнхене (школа Ф.Отто); градостроительный проект освоения побережья Атлантического океана в Марокко — г. Флораскин (Д. Хут и его коллеги) и т.д. Правда, здесь синтетичность результата находится пока на уровне, ограниченном историческими условиями жизни и техническими возможностями человека.

Для выявления связей между архитектурой и живой природой в конкретных формах в архитектурной бионике целесообразно использовать механизмы аналогий и гомологий (согласие — *греч.*).

По биологической терминологии смысл механизма аналогий заключается в том, что в результате длительного выполнения сходных функций разными по происхождению организмами между ними возникает довольно конкретное структурное сходство (онтологический аспект). Например, колючка боярышника — преобразованный побег, колючка барбариса — преобразованный лист, но оба органа приспособились к выполнению защитных функций. При сравнении форм архитектуры и живой природы можно также вскрыть однопорядковые элементы, выполняющие сходные, например, конструктивные, функции: стельба растения и колонны здания, купол здания и постройки термитов, паутина и вантовые конструкции и т.д. Аналогии могут восходить до уровня видового и функционально-типологического, например жилье человека и жилье бобра, гнездо птицы и т.п.

Метод аналогии — не метод поверхностных сравнений между явлениями, как иногда думают, а метод выявления сходства вещей по существу, возникшего в сходных условиях развития.

Известный физик Н.Бор активно использовал метод аналогий в своих исследованиях, называя его методом "соответствия". Метод аналогий — это метод выявления общих законов развития в их конкретном проявлении. Об этом пишет акад. В.В.Парин, рассматривая метод аналогий применительно к кибернетике: "Кибернетический подход к рассмотрению биологических явлений связан с установлением аналогий между живым организмом и техническим устройством, с поисками общих законов их функционирования" [5].

Таким образом, не только аналогичность форм (изоморфизм), но главным образом аналогичность изменения, движения, развития (изофункционализм), в результате которых образуются аналогичные формы, — именно такой, содержательный смысл следует придавать принципу аналогий в архитектурной бионике.

Академик А.Н.Колмогоров пишет по этому поводу следующее: "С давних пор известны аналогии между:

а) сознательной целесообразной деятельностью человека;

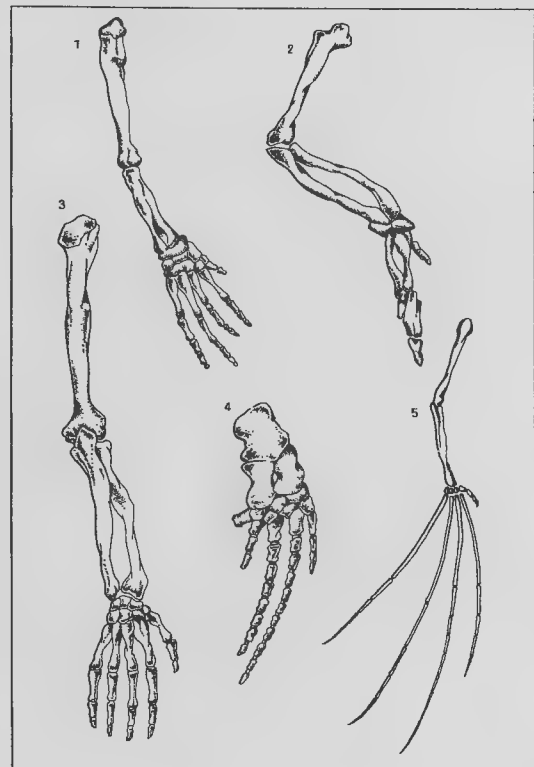


Рис. 3. Гомология в живой природе. Сравнение скелетов конечностей различных животных и человека (рис. Ю. Лебедева)

б) работой созданных человеком машин; в) различными видами деятельности живых организмов, которые воспринимаются как целесообразные, несмотря на отсутствие управляющего ими сознания. Человеческая мысль искала веками объяснения этих аналогий как на путях положительных знаний, так и на путях религиозных и философских спекуляций" [6].

Другой механизм конкретизации перевода законов живой природы в архитектуру — принцип гомологий. В противоположность принципу аналогий он направлен не на фиксацию сходных признаков в разных по происхождению явлениях, а на установление принципов родства в объектах, которые в связи с выполнением в процессе эволюции разных функций и в изменяющихся условиях среды приобрели значительно отличающиеся от предков черты и в формальном, и в функциональном отношении.

Вот один из примеров проявления принципа гомологий в живой природе. Известно, что передние конечности лягушки, ящерицы, кошки, руки человека, плавники кита, крылья птицы и летучей мыши выполняют различные функции. Однако, как показали исследования, все они имеют одинаковый план строения и одинаковое количество костей, что говорит о выполнении ими в далеком прошлом сходных функций (рис. 3). В биологии такие органы, имеющие сходный план строения, но предназначенные для выполнения в принципе различных операций, называются гомологичными. Они имели одного предка, но их развитие пошло разными путями. Правда, некоторые их функции остались сходными,

например крыло летучей мыши и крыло птицы выполняют летательные функции, а рука человека кроме сложных комплексных операций используется, подобно плавнику кита, также и для плавания.

Принципы аналогий и гомологий представляют собой диалектическую пару, в которой все элементы дополняют друг друга. Например, когда говорят о гомологичных органах, то опираются на выявленное сходство (аналогию) в их строении. Если же мы обращаемся к аналогиям в разных явлениях, мы тем самым определяем черты их родства (гомологичность).

Принцип гомологий может быть использован и в архитектурной бионике для установления родственных связей в постройках живых организмов и архитектурных сооружений.

Строительство, например, плотин бобрами и человеком имеет родственные корни. В свое время запруды, устраиваемые человеком и бобрами, были аналогичными. Плотины же гидроэлектростанций приобрели новые функции — обеспечение производства электроэнергии. Остается, однако, общим план (идея) построения запруды. И в этом отношении плотины гидроэлектростанций гомологичны (родственны) плотинам бобров.

Также значительно изменилась форма и функция жилья (включая и транспортные жилые ячейки) по сравнению с убежищем первобытного человека, сходным с термитниками, гнездами птиц, жилыми постройками тех же бобров.

Идея вант, стальных проводов и т.п. ведет свое происхождение от паутины паука, гибких лиан, расчленившихся волокон льна и т.д. Однако подобные системы породили различные, гомологичные функции в человеческой деятельности — линии высокого напряжения, подвесные дороги и висятые мосты, вантовые покрытия зданий, рыболовецкие сети.

В соответствии с открытым в 20-х годах нашего столетия акад. Н.И.Вавиловым законом гомологических рядов в наследственной изменчивости устанавливается сходство "формообразовательных" процессов не только у организмов близких видов родов и семейств, но и сходство гомологических рядов и семейств растительного и животного мира, органических соединений (углеводородов), систем и классов кристаллохимии [7]. Здесь идет речь о сходстве именно формообразовательных процессов в весьма различных системах, а не о сходстве структур (подразумевается видовое сходство — Ю.Л.) [8].

Основой формообразовательных процессов в архитектуре являются в первую очередь общественные и биологические потребности человека. Немалое значение имеют здесь поведенческие факторы человека, обусловленные его биологией, физиологией, психофизиологией. И в этом случае принцип гомологических рядов позволяет вскрыть многие поведенческие стороны человека на основании уже изученных примеров жизнедеятельности и поведения других живых организмов, например в отношении действия радиации, света, цвета, взаимодействия с физическими массами, материалами, конструкциями и т.д. В теории архитектуры не раз возникала проблема антропоморфизма (изучение пропорций человека в "золотом сечении" от Леонардо да Винчи, Альбрехта Дюрера до Адольфа Цейзинга в XIX в. и модуляра Ле Корбюзье). Теория антропоморфизма все же не получила глубокого и широкого развития в архитектуре, и к ней стоит вернуться, по нашему мнению, на основе бионики.

М.И.Сетров по поводу принципа "гомологий" пишет: "Однако общность происхождения не может полностью объяснить общность организации, поскольку за долгий период эволюции биологических систем они имели вразь коренным образом преобразоваться" [2].

И здесь на помощь приходит упоминавшийся принцип аналогий, который позволяет обнаруживать сход-

ство в организации различных систем.

Добавим также, что, если аналогии являются свидетельством схождения — конвергенции признаков различных по происхождению объектов, то гомологии, наоборот, говорят о расхождении — дивергенции (постепенном исчезновении) принципов развития ранее родственных объектов. Таким образом, их использование в архитектурной бионике может воссоздать интересную картину соотношения приобретенного и утерянного как отдельно в живой природе и в архитектуре, так и в их взаимодействии.

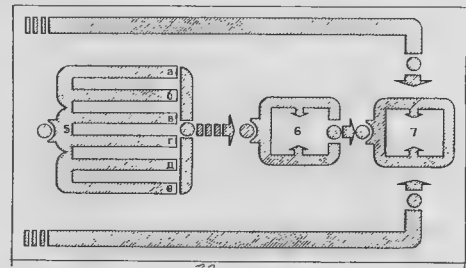
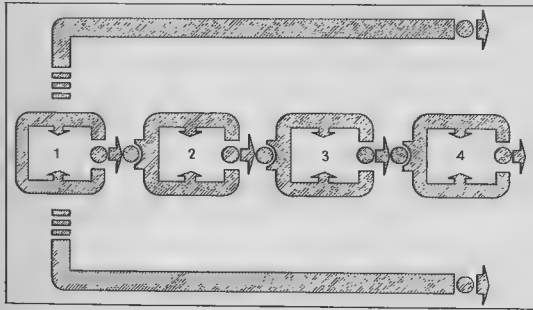
Практически в архитектурной бионике процесс освоения законов живой природы идет от функций живых объектов к аналогичному функциональному назначению архитектуры, а также от природных форм, "очищенных" от тех их элементов, которые чужды архитектуре, к творческой осмысленной архитектурной форме. Как говорят ученые, осуществляется процесс отчуждения деталей и ненужных элементов. Вместе с тем реализуется процесс включения "недостающих элементов", т.е. совершенствование моделируемого объекта.

В архитектурной бионике, поскольку она связана с красотой форм живой природы и в соответствии с процессом репликации ее модели — с искусством архитектуры, возникают эстетические и, более того, художественные проблемы. Их разрешение идет главным образом по линии освоения объективных основ гармонии, общих для архитектуры и живой природы. Впрочем, в определенных ситуациях это подразумевает весьма контрастные интерпретации красоты форм живой природы в архитектуре.

В принципе, демократической и гуманистической направленности архитектуры импонирует в живой природе своеобразная "правдивость" красоты ее форм, "оптимизм" и стремление к жизнеутверждению, нашедшие отражение во многих произведениях, например, народного зодчества.

Законы гармонии живой природы могут помочь вскрыть и законы гармонического равновесия между архитектурными комплексами, обогащающимися различием построения форм — полиморфизмом, в возникновении которого большую роль сыграла новая техника. Именно живая природа обладает "умением" приводить к "единообразию" самые разнохарактерные формы. И в этом смысле очень важно изучение в живой природе "механизмов" гармонизации: симметрии — асимметрии, пропорций, ритмов, тектоники, цветоцветовых отношений и таких проявлений свойств форм живой природы, осваиваемых эстетически в архитектуре, как живописность, красочность, жизнерадостность, физическая пегкость, прозрачность, структурность, психологически сопереживаемая надежность и т.п. Изучение законов гармонии форм живой природы и ее популяций поможет преодолеть в архитектуре имеющее место "однообразие" на разных его уровнях как несогласованное сочетание разнообразных форм, так и бесконечное повторение типовых форм (в живой природе, например, поле, покрытое типовыми формами — ромашками, не создает впечатление однообразия).

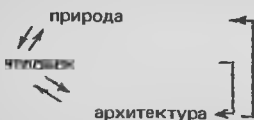
От разработки основ метода архитектурной бионики во многом зависят успехи архитектурно-бионических исследований. Так, попытки "напрямую" связать природную и архитектурную форму часто приводят (за редким исключением) к чудовищным недоразумениям и полнейшему непониманию смысла архитектурной бионики. Например, можем ли мы найти что-либо соответствующее цели архитектуры в ползущем черве, улитке, трапедании лепестка цветка? Направление таких сравнений может лишь увести еще дальше от сущности решения вопроса и даже оттолкнуть исследователя и потребителя архитектуры. Но стоит взглянуть в принцип движения кольчатого червя, как возникнет идея изме-



нения структуры, которая дает представление о трансформируемых конструкциях. В лепестке же цветка можно увидеть интересную геометрию формы, обеспечивающую энергетический баланс и, одновременно, удивительную конструкцию лепестка и другие полезные для строителей свойства. И здесь мы уже переходим из плана несогласованности, недоразумений к установлению логической связи законов развития архитектуры с законами формообразования живой природы.

Сопоставляя два компонента — живую природу и архитектуру, необходимо в понятие второго компонента вкладывать смысл: человек ↔ архитектура, и находить соотношение живой природы с этой системой по двум линиям; 1) человек, представляющий собой биологический элемент, часть живой природы, ищущий в то же время защиты от неблагоприятных действий живой природы посредством организации укрытий; 2) здания или сооружения — укрытие для человека, его своеобразная одежда, подобная панцирю, одевающему черепашку, или скорлупе ореха, защищающей его содержимое — зерно.

В процессе своего развития человек передал многие свои приспособительные защитные средства зданиям — камню, железобетону, стеклу, металлу, пластмассам, как бы одушевляя их. Поэтому оболочку здания можно представить не как инертный материал, а как часть человеческого организма (что наблюдается часто и в живой природе). И именно благодаря человеку идет процесс развития здания "изнутри-наружу": здание выполняет функцию связи человека с внешней средой — функции защиты и контакта. И в этом смысле здание осуществляет через человека законную физиологическую функцию. Человек является "средним геометрическим", связывающим объективно и природу и архитектуру в системе:



Предыстория архитектурной бионики, да и ее современность, характеризуются однонаправленной связью, когда архитектура выступает в качестве своеобразного потребителя открывающихся для нее в живой природе новых принципов построения форм, строительных материалов, конструкций и технологических процессов. Более высокий этап ее развития наступит тогда, когда архитектура включится в систему биосферы и будет идти процесс ее согласованного формирования с живой природой, с окружающей природной средой. Этот аспект подразумевает не только потребление, но и сохранение и восстановление самой живой природы (обратная связь) с целью создания гармоничной среды существования человека — задача, становящаяся особенно важной на уровне решения градостроительных вопросов и вопросов расселения.

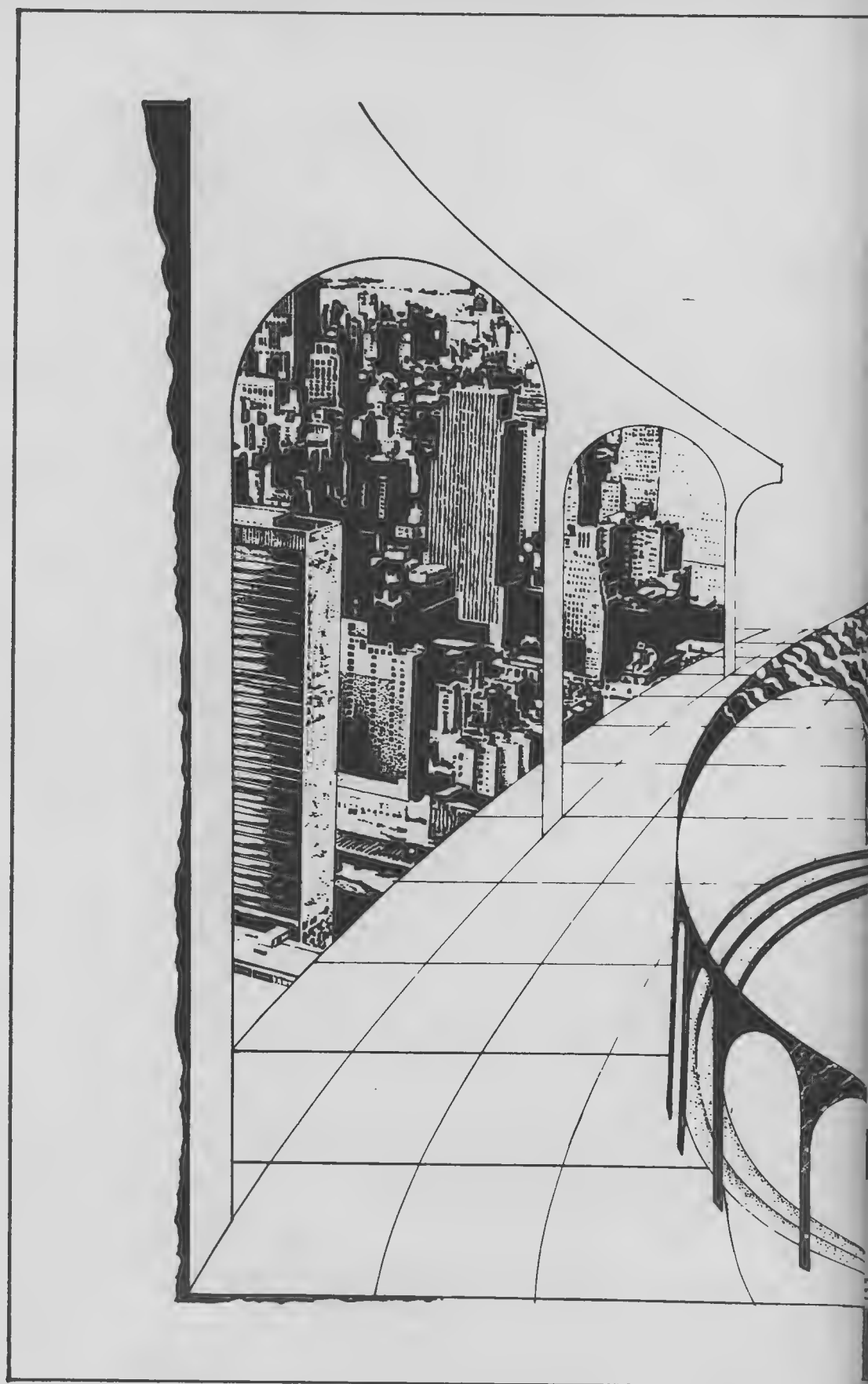
Рис. 4. Структура методики проводимых исследований. Схема (Ю.С. Лебадева)
1 — объект методического освоения; 2 — содержание архитектурной бионики (синтез архитектуры и живой природы); 3 — противоречия (общественный характер архитектуры — биологическая сущность живой природы); 4 — разрешение противоречий; 5 — механизм

синтеза: а — системно-структурный анализ; б — принцип аналогий; в — принцип гомологий; г — операция геометрией форм; д — методы смежных наук; е — интуиция; 6 — средства овеществления: строительный материал, конструкции, технологии строительства, средства композиции; 7 — целевая установка архитектуры: функция, эстетика

Возможности архитектурной бионики исторически ограничены. Но даже и на современном этапе архитектурно-бионических исследований можно ставить чрезвычайные важные, принципиальные проблемы в чем-то новом. Известно, что решение всего объема инженерных, социально-функциональных и идейно-эстетических задач архитектуры порождает необходимость в комплексном, научно-художественном методе советского зодчества. В этом методе должны органически сливаться требования научно-технического прогресса, социально-экономические потребности развития социалистического общества, принципы социалистического реализма. Очевидно, что сама комплексность метода архитектуры предполагает возможность включения в его диапазон такого современного метода познания природы и реализации научных результатов, как бионика. При этом бионический метод может обогатить творчество архитекторов не только инженерными "патентами" живой природы, не только многообразием пространственных форм, но и близкими человеческой душе гармоническими образами, восходящими к гуманному восприятию вечной красоты природы.

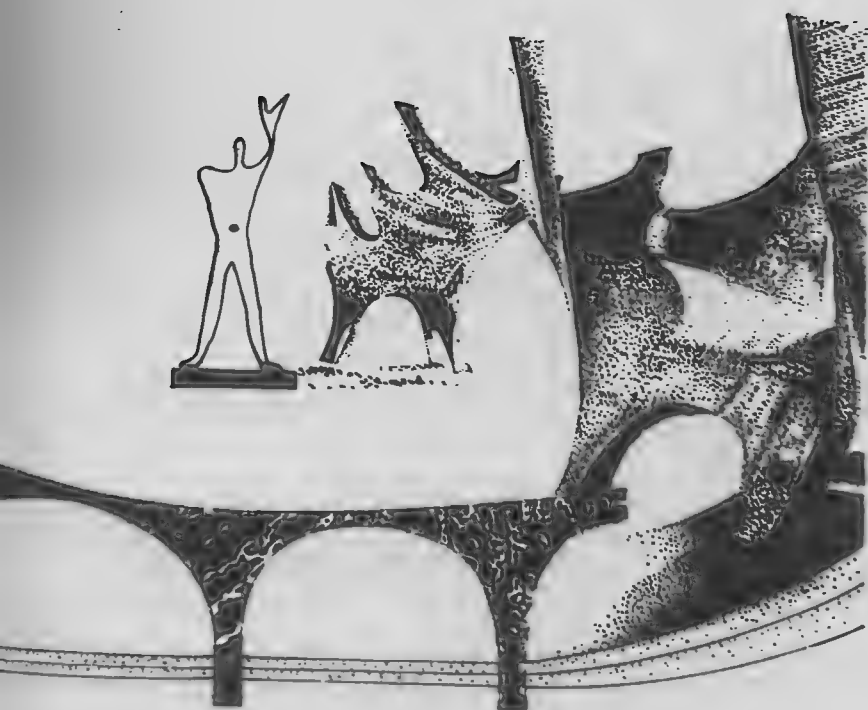
В архитектуре формируется особый, архитектурно-бионический метод, отражающий определенную творческую концепцию и позволяющий на практике создавать новые архитектурные формы. В этом смысле метод архитектурной бионики — метод продуктивный, созидательный. Его структура показана на рис. 4.

Таким образом, метод архитектурной бионики в отличие от количественных, например математических методов, позволяет соединить в одно целое абстрактное и конкретное, математические законы формы и ее конкретный, эмоциональный образ, утилитарное и красоту. Он синтезирует то, что до сих пор казалось несоединимым, — науку и искусство. В этом его родство с методом архитектурного творчества. Именно поэтому он органично входит в архитектурное творчество, становится его неотъемлемой частью, что позволяет его эффективно использовать в решении практических вопросов архитектуры.



Глава 3

ОСНОВНЫЕ
ПРИНЦИПЫ
АРХИТЕКТУРНО-
БИОНИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ



ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ МОДЕЛИ В АРХИТЕКТУРНОЙ БИОНИКЕ

В.А.Штофф пишет, что слово "модель" произошло от латинского слова "modulus", что означает: мера, образ, способ и т.п. Его первоначальное значение было связано со строительным искусством [3].

Обычно понятие модели употреблялось для обозначения образца, прообраза или вещи, сходной с другой вещью. Сейчас модель употребляется в качестве научного понятия в математических, технических, естественных и социальных науках, в искусстве, архитектуре, бионике, кибернетике и т.п. (схема 1).

Процесс моделирования связан со спецификой научного мышления, не отрицающего объективных законов существования мира. В живой природе имеет место самомоделирование живых видов, являющееся в большей мере выражением законов живой природы, но оно не абсолютно, учитывая все прогрессирующее вмешательство человека в жизнь живой природы.

Объективно процесс моделирования возникает и используется в трех направлениях мыслительной и практической деятельности человека.

Первое направление использования моделирования — выражение одной теории через другую, которая обладает структурным подобием (изоморфностью) по отношению к первой, что, например, характерно для абстрактно-математических методов моделирования.

Теория архитектурно-бионического моделирования также изоморфна по отношению к общей теории моделирования, поскольку она интерпретирует структурную схему общей теории моделирования и пользуется ее основными понятиями. Ей мы будем следовать и в нашем анализе, вскрывая, однако, специфику архитектурно-бионического моделирования и конкретизируя его в профессиональном аспекте.

Весь процесс архитектурно-биологического синтеза (гармоничного соединения законов формирования архитектуры и живой природы), осмысливаемой теоретически, также есть процесс изоморфного моделирования — сопоставления и нахождения "точек соприкосновения" между биологической и архитектурно-бионической теориями, отражающими объективные процессы, происходящие в живой природе и в архитектуре. Изоморфна теория архитектурной бионики и по отношению к общей теории бионики: первая моделирует общие законы второй.

Второе направление использования моделирования — отражение в мысленной или физической форме объективной реальности. В этом значении модели применяются в архитектурной бионике, например на стадии воспроизведения биологических объектов, что является лишь первым этапом архитектурно-бионического моделирования и называется биологическим моделированием.

Еще в древности развитие науки и философии сопровождалось созданием наглядных картин, образов действительности, воспроизводящих явления в космосе или микромире (модель Птолемея, показывающая вращение "мира" вокруг неподвижной Земли; представления Демокрита, Эпикура об атомах, их круглой или крючкообразной форме и т.д.). Такие модели отличаются от математической формализации явлений тем, что они стремятся раскрыть действительность в ее же готовых формах, хотя такие модели не лишены абстрактной формализации и не свободны от субъективности мышления.

Третье направление использования моделирования предполагает изображение одной области явления с по-

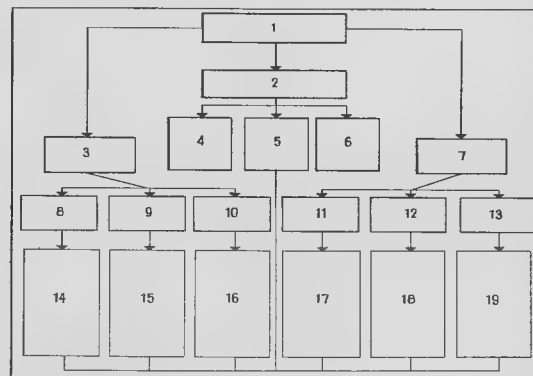


Схема 1. Структура моделирования

1 — модели; 2 — проектные (предвещественные); 3 — идеальные (мысленные); 4 — эскизные; 5 — проектные задания; 6 — технический проект, рабочие чертежи; 7 — вещественные (материальные); 8 — образные (иконографические); 9 — знаковые (символические); 10 — смешанные (образно-знаковые); 11 — изобразительные; 12 — действующие, функционирующие; 13 — смешанные; 14 — гипотетические модели: модели-аналоги (модели памяти), модели идеализации (общие представления), формально-структурные модели, рисунки; 15 — функциональные отношения: логико-математические структурные модели взаимосвязи функции, формы, экономики; технические

и др.; 16 — схемы, графы, чертежи, графики; 17 — формально-геометрические подобные модели, аффинные преобразования, плотные упаковки, макеты, муляжи, слепки с форм природы; 18 — физически подобные (конструкция, материал, организация пространства), функционально-подобные (механические изменения пространства, обмен энергии — влаго-газообмен, авторегуляция биохимического режима, инсоляция), живые модели, комплексные синтетические модели; 19 — исследование и изображение отдельных связей, геометрия и конструкции (закономерности тектоники), формы и размерности (пропорции), функция и формы (симметрия, асимметрия, ритмы) и др.

мощью другой, более изученной, привычной, легче понимаемой. Например, физики XVIII в. пытались изобразить оптические и электрические явления посредством механических, или сравнивали электрический ток с течением жидкости по трубам, строение атома со строением солнечной системы и т.п. Такое направление моделирования сливается с понятием о физической аналогии. Поэтому подобные модели часто называют моделями-аналогами (или аналоговыми моделями), независимо от того, воображаемые они или реальные.

Указанные направления моделирования и их смысловые значения можно представить в виде двух групп моделей: моделей научного представления M_1 , обозначающих конкретный образ изучаемого объекта или объектов (атом, молекула, хромосома), в которых отображаются реальные или предполагаемые свойства, строение и другие их особенности, и аналоговых моделей M_2 .

Этих двух групп моделей для решения научных и практических задач бионики явно недостаточно. Задача бионики синтезировать два явления — живую природу и технику, а архитектурной бионики — живую природу и архитектуру. Поэтому появляется необходимость включения в обиход третьей группы — синтетических моделей (СМ).

Если рассматривать применение указанных трех групп моделей (M_1 , M_2 и СМ) в архитектурной бионике на фоне проводимых научных исследований (которые нельзя отождествлять с процессом моделирования), то получится следующая картина. Обращение к живой природе происходит на основе знаний архитектурной проб-

лематики и сводится к изучению общих закономерностей развития живой природы, ее форм и технических средств с целью отбора полезных явлений для архитектуры. Сам процесс отбора неизбежно сопровождается умозрительными, а в необходимых случаях и другими видами предварительного моделирования (математического и т.д.) — этап "бионического" моделирования.

Выявленные закономерности или отобранные средства и формы живой природы подвергаются дополнительному, более точному анализу и моделированию, например форм живой природы с целью проведения экспериментов. Здесь же могут быть использованы модели научного представления (M_1), а также аналоговые модели в том смысле, как их понимают в общей теории моделирования (M_2).

Переход к архитектурно-бионическому моделированию осуществляется на этапе решения собственно архитектурных задач — вначале в принципиальном виде (например, моделирование какого-либо типа форм, потенциально способных участвовать в решении архитектурных задач), а затем на предпроектной стадии, в типологической форме (например, покрытие для бассейна, высотное здание). Этот этап моделирования можно назвать синтетическим (СМ).

Синтетическая модель в архитектурной бионике возникает не просто как аналог живой природы, а прежде всего в связи с родственностью явлений архитектуры и живой природы.

Итоговые, синтетические архитектурно-бионические модели должны учитывать все предъявляемые к архитектуре утилитарные и духовные требования, не исключая традиций и влияния многих внешних по отношению к архитектуре факторов (другие виды искусства, мода и т.д.).

Отсюда в бионике (в отличие, например, от кибернетики) возможно не только принципиальное, но и конкретное сходство архитектурно-бионических моделей с аналоговыми формами живой природы. Добавим, что синтетические модели не отрицают, а наоборот, подразумевают участие в архитектурно-бионическом процессе других видов моделей (например, математических).

Материалы по архитектурно-бионическому моделированию служат основанием для составления рекомендаций по разным аспектам архитектурной бионики для дальнейшего их использования в проектной работе и создании натурных объектов.

В науке справедливо вводится ограничение понятия модели, так как модель часто, по мнению ученых, незаконно отождествляется с гипотезой, абстракцией, формализованными системами, идеализацией, любым математическим описанием, теорией, особенно, когда последняя находится в первоначальном, гипотетическом состоянии. Простая замена одного термина другим, в данном случае указанных понятий термином "модель", не порождает новых гносеологических проблем и не превращается в более эффективное средство их исследования или решения.

Чтобы избежать в дальнейшем путаницы, рассмотрим, в чем отличие теории (в нашем случае теории архитектурной бионики) от модели?

Под теорией, как известно, несмотря на некоторое различие формулировок, понимается логическая система совокупных утверждений об общих законах той или иной предметной области исследования, позволяющая на основе исходных посылок выводить определенные следствия.

Отличие модели от теории особенно очевидно в случае материально-вещественных моделей, которые представляют собой предметную реализацию самой теории. Близко к этому стоит выделение у В.А.Штоффа обобщающей специфики модели как "единичного объекта".



Рис. 1. Слпки с форм живой природы (В.И. Тимофеев)

Попробуем, в итоге вывести суммарную "формулу" понятия архитектурно-бионической модели.

Под архитектурно-бионической моделью подразумевается такая мысленно представляемая или вещественно (материально) реализованная система, которая в конкретно-образной форме отражает и синтезирует законы и принципы формообразования живой природы и архитектуры с целью выполнения архитектурных задач, а также получения новой информации о законах и принципах формообразования в живой природе и в архитектуре.

ХАРАКТЕРИСТИКА СВОЙСТВ АРХИТЕКТУРНО-БИОНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Модель должна включать прежде всего материалистический принцип отражения (отображения) и пониматься как средство отражения (отображения) или воспроизведения той или иной части действительности.

Следовательно, модели могут изменять свои свойства в зависимости, во-первых, от того, как происходит, каким способом ведется процесс отражения действительности, какими средствами строятся модели (формальный аспект) и, во-вторых, от характера той действительности, тех объектов и областей объективного мира, которые воспроизводятся в моделях (содержательный аспект).

В зависимости от способа построения моделей, от средств, какими производится моделирование объектов, модели могут быть разделены на два вида: 1) вещественные — материальные; 2) идеальные — воображаемые, умозрительные.

К первому виду относятся модели, объективно существующие, воплощенные в металле, дереве, стекле, армоцементе, пластмассах и других материалах. К ним

в науке в определенных случаях относят также и живые модели, отобранные человеком и позволяющие в упрощенной форме имитировать изучаемые особенно сложные процессы. Живая модель может проходить испытания, например, на конструктивную прочность или на температурно-влажностные изменения и т.п. Наименование второго вида модели говорит само за себя.

Среди вещественных моделей можно также выделить определенные разновидности. Примем в качестве основного (отправного) критерия этой классификации способность моделей к действию. Здесь можно зафиксировать три разновидности.

Первая разновидность — изобразительные модели — имеет способность отображать, создавать образ объекта, что характеризуется в итоге геометрическим подобием. Примером здесь могут служить хорошо известные архитекторам макеты домов, генеральных планов городов и т.д. Важное место в этой группе, как показал опыт, занимают слепки с форм живой природы, позволяющие изучать их геометрические и физические параметры в лабораторных условиях (рис. 1). Эти модели дают возможность осваивать эстетические свойства форм, абстрагированных от функций, — очертания, характер, строгость или мягкость линий и т.д. Изобразительные модели нужны и полезны, однако далеко недостаточны в архитектурно-бионическом моделировании, поскольку они весьма ограничивают представление о существе происходящих процессов в моделируемых объектах.

В современной архитектурной практике сама по себе ценная, но односторонняя изобразительная интерпретация форм живой природы нашла широкое отражение в таких направлениях, как "произвольная архитектура", "архитектура-скульптура", а частично и ранее в архитектуре модерн. Мы напоминаем об этих явлениях в архитектуре потому, что многие из тех, кто занимается изучением живой природы, сбиваются в основном на такой метод моделирования, не затрудняя себя более глубоким анализом: одно не исключает другого. Если не абсолютизировать изобразительные модели, они нужны в архитектурной бионике, так как содержат в себе полезный элемент широкого, "чувственного" обобщения.

Вторая разновидность — действующие (функциональные) модели, предназначенные для проверки моделируемых параметров объектов, например, испытание конструкций на механические свойства, проверка организуемого пространства на теплотехнические свойства. Сюда же входят и комплексные синтетические модели. Это основная группа, последний этап перед внедрением результатов исследуемых явлений и моделей в архитектурную практику.

Основу моделирования в описываемой разновидности составляет физическое подобие модели и объекта, предполагающее одинаковость или сходство их физической природы и тождественность законов движения. Отношение таких материальных моделей к отображаемым объектам живой природы сопровождается обычно изменением пространственной или временной шкалы. Например, модели конструкции выполняются со значительным увеличением размеров (маленькое крыло жука и его метровая модель), не говоря уже о натуре — архитектурных объектах. Кстати, в техническом моделировании — обратная зависимость размера модели от моделируемого объекта (модель корабля, плотины и т.д.). Или изменение временной шкалы: трансформация конструкций может происходить в более ускоренном темпе, чем, например, в моделируемом процессе раскрытия бутона цветка флоксы.

Третья разновидность — смешанные модели. Они предназначены главным образом для моделирования связей, изучаемых в изобразительных и действующих

моделях, — законов геометрии и принципов конструирования (объективные основы тектоники); формы и размерностей функционирующего элемента (пропорции); функции и формы (симметрия — асимметрия, ритмы) и др.

Вещественные или материальные модели неразрывно связаны с идеальными или воображаемыми моделями, так как мысленное представление о моделях предшествует их овеществлению. Особенностью таких моделей является необязательная, а часто и невозможная реализация в вещественных моделях (схема II).

Имеются также разновидности и этих моделей. Например, рассматривая модели с точки зрения способа их построения — формы, их можно разделить на три подгруппы: первая — образные модели, вторая — знаковые и третья — смешанные, образно-знаковые модели [3]. Не останавливаясь подробно на рассмотрении известного в научном мире их содержания, обратим внимание лишь на преимущественное значение в архитектурной бионике образных моделей, что соответствует и преобладанию образного мышления в архитектурном творчестве.

В архитектурной бионике, так же как и в других отраслях научных знаний, существует возможность значительно расширить число видов моделей за счет учета разнообразия объектов исследования (растительный мир, животные организмы, конструкции и строительный материал живой природы), уровня их проработки (полные, частичные), динамики (изменяющиеся во времени) и статики и т.д. С ними мы будем сталкиваться в процессе дальнейшего анализа, проводимого в данной книге.

АРХИТЕКТУРНО-БИОНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КАК СРЕДСТВО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

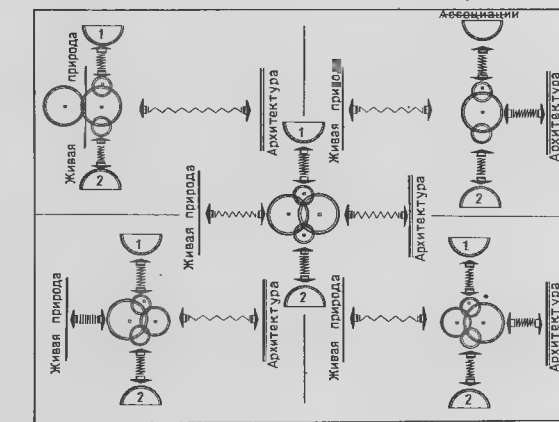
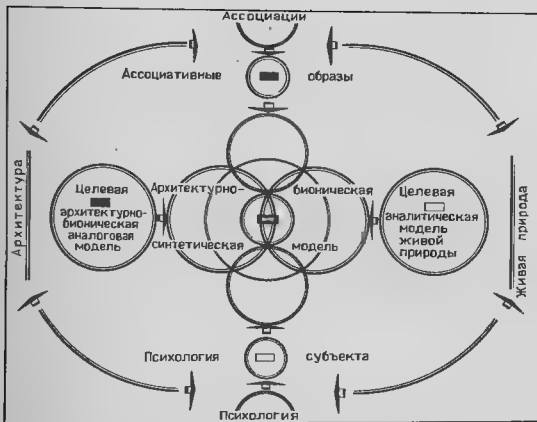
Сравнивая вещественные и идеальные модели, необходимо отметить их следующее важное гносеологическое различие. Несмотря на то что вещественные модели создаются для определенных целей человека, они существуют объективно по законам, относительно независимым от человека.

Идеальные модели, воспроизводя те же явления, что и вещественные, существуют лишь в сознании познающего субъекта и "функционируют" только благодаря его мысленным операциям. В этом смысле они весьма "гибкие" и поддаются быстрым трансформациям.

В то же время вещественные модели уже относятся к определенной среде практической деятельности и от них значительно ближе к реализации архитектурно-бионических идей в архитектурной практике. Оперирование же мысленными идеями — это область теоретической (умственной) деятельности, складывающейся как из логического мышления, так и из процессов творческого воображения. Однако такое разделение не означает наличия резких границ между вещественной и мысленной моделью, между практикой и теорией моделирования, тем более когда дело касается научного экспериментально-вещественного моделирования (есть и другой род вещественных моделей — образцы, стандартные экземпляры, выпускаемые на практике, экспериментальное строительство, к которым мы обратимся ниже).

Эксперимент рассматривается наряду с производством и общественно-преобразующей деятельностью как одна из основных форм практики. Эксперимент выражает активное отношение человека к действительности.

Архитектурно-бионический эксперимент в виде вещественных моделей также представляет собой наиболее активную форму связи теории с практикой, архитектуры с живой природой. И здесь очень важно не превращать архитектурно-бионический эксперимент в на-



блюдение, в простую пробу и испытание. Такого рода "эксперименты" можно наблюдать и у животных — лошади, нащупывающие ногами рискованный спуск, кошки, испытывающие лапой степень теплоты молока, и т.д.

Сущность эксперимента в архитектурной бионике включает не только активность, действенность познания, но и предметную деятельность. И если в естественных науках — это активное, предметное воздействие на природу, то в архитектурной бионике предметность заключается в создании конкретных моделей, в которых заложена преобразующая идея архитектурной действительности, и в этом же заключено активное отношение экспериментатора к внешнему миру (схема III).

В науке установлены следующие позиции, определяющие понятие эксперимента [3], которые мы дополняем своими соображениями, относящимися к исследуемому нами предмету.

1. Активное отношение человека к внешнему миру. Под этим нужно понимать, с нашей точки зрения, два момента. Первый — выполнение в процессе эксперимента общественной задачи, а не слепое подчинение или подражание законам внешнего мира, что нередко наблюдается в архитектуре Запада, при использовании в ней закономерностей формообразования живой природы. Второй момент — преобразование внешнего мира (живой природы), присутствующее в архитектурной бионике в случае организации архитектурно-природной среды. Виды и средства воздействия архитектуры на окружающую ее живую природу в комплексе с другими компонентами природной среды — самые различные, и о них будет идти речь в соответствующих разделах книги.

2. Практическое реальное выделение изучаемых связей и умение их очистить от других, случайных, ненужных связей, не имеющих значения для архитектуры элементов, что также аналогично процессу абстрагирования в теоретическом мышлении.

3. Возможность неограниченного воспроизведения изучаемого процесса в определенных условиях. Следует оговориться, что в архитектурной бионике, специфика метода которой, как и вообще в архитектуре, заключается в научно-художественном мышлении, не всегда возможно, и нужно повторение эксперимента во всех его деталях, например в случае эстетического освоения форм живой природы в архитектуре. В этом случае повторение вступает в противоречие с художественной стороной метода архитектурного творчества. Однако можно создать такие условия художественного эксперимента, которые могут быть неоднократно повторены. В то же время, эксперимент конструктивного или функ-

Схема II. Моделирование. Схема мысленного представления

Схема III. Динамика архитектурно-бионического моделирования
1 — ассоциации; 2 — психология

ционального содержания, если оно претендует на научность, может и должен быть повторен во всех аспектах.

4. Планомерное изменение, варьирование и комбинация условий вплоть до создания таких процессов их воплощения, которые в тождественном виде не существуют в природе. Именно к такому эксперименту сводится и процесс архитектурно-бионического моделирования, если не считать, что возможны различные степени создания нового.

5. Организованность эксперимента и сведение к минимуму элементов случайностей. Однако, как известно, проблема случайностей в архитектурно-художественном творчестве имеет свою специфику.

В итоге попытаемся дать определение архитектурно-бионическому эксперименту, непосредственно связанному с моделированием: архитектурно-бионический эксперимент есть особый вид научного познания, заключающийся в синтезировании посредством специальных материалов, инструментов и приборов объективных закономерностей живой природы и архитектуры с учетом субъективного фактора и имеющий своей целью решение ряда проблем архитектуры.

Эксперимент нельзя приравнивать ко всему архитектурно-бионическому процессу, поскольку он, как правило, очерчен заранее заданным конкретным кругом условий и представляет собой на простое наблюдение, а предметную, преобразующую деятельность. И если его нельзя сводить к "пробе", тем не менее этот момент присутствует в эксперименте — проба, попытка, хотя и запланированные и заранее осмысленные, обдуманные, но не определенные по своим возможным результатам.

К. Маркс в "Капитале" раскрыл структуру процесса производства. Поскольку и эксперимент, и процесс производства представляют собой вид практики, то можно считать возможным использование методики, разработанной К.Марксом для анализа структуры процесса производства в архитектурно-бионических экспериментах. И в обоих случаях налицо: а) предмет деятельности; б) средство воздействия (средства и орудия труда и экспериментальные средства — приборы, инструменты и т.п.). По отношению к архитектурной деятельности, и в том числе архитектурно-бионической, применимо также и понятие "средство преобразования" действительности. Нельзя также забывать, что К. Маркс в "Капитале" относил здания и сооружения к средствам производства; в) целесообразная деятельность, поскольку

эксперимент, как правило, планируется. С.И.Вавилов справедливо замечает, что "... к опыту редко обращаются наудачу, в поисках новых неожиданных явлений ... Эксперимент всегда, прежде чем предпринять опыт, ставит вопрос о его целесообразности" [5].

Деятельность предполагает наличие экспериментатора, как познающего действительность субъекта.

Эксперимент нельзя исключить из системы "теория — практика". Однако существует обратное мнение, которое, с нашей точки зрения, может на деле привести к "ползучему" практицизму и к потере четкости в направленности и целесообразности деятельности.

С позиций марксистской методологии эксперимент является также элементом всей общественной деятельности. В нем используются результаты производства, воплощенные в материальных средствах эксперимента. Он опирается на достижения науки и техники, знания и существующую экспериментальную методику, созданную трудом ряда поколений, что не исключает творческого вклада самого экспериментатора. Все это очень важно, так как этим кругом обстоятельств определяются не только цели, но и возможности постановки эксперимента.

Эксперимент, как и любая форма человеческой деятельности, представляет собой единство субъективно-объективных отношений.

Методологически необходимо различать понятия "объект исследования" и "экспериментальные средства исследования", поскольку в структуре эксперимента их роль неодинакова. Вместе с тем, с точки зрения гносеологии, четкие границы между этими понятиями провести не всегда возможно, так как и то, и другое представляется как материальные процессы, существующие объективно и действующие по объективным законам природы, независимо от того, построены ли они человеком или созданы природой. Так, в процессе архитектурно-бионического эксперимента, например, испытания мягко-упругих надувных оболочек на аэродинамические и упругие свойства, в качестве средства исследования (своеобразного прибора) можно использовать такие естественные явления, как ветер, дождь, снег и т.д. То же самое относится и к натурному, биологическому объекту исследования, в процессе которого могут быть реализованы действия естественных сил, в том числе гравитация, магнетизм, солнечная энергия и другие факторы среды. Иначе говоря, в качестве приборов можно рассматривать всякий предмет, реализующий определенное взаимодействие с объектом исследования.

Поэтому появляется аргументированная возможность использовать понятие "гносеологический объект исследования", синтезирующий в себе "объект исследования" и "экспериментальные средства исследования". В.А.Штофф пишет: "Понятие гносеологического объекта исследования" позволяет трактовать любые взаимодействия между прибором и исследуемым явлением как вполне объективные процессы с гносеологической точки зрения, как в равной степени независимые от субъекта, безотносительно к тому, сделаны ли они человеком или существуют естественным образом" [3].

Объект экспериментирования в архитектурной бионике может выступать в различных видах и состояниях:

а) как явление живой природы, в котором ожидается проявление того или иного эффекта, согласно какой-либо гипотезе (например, исследований демпферных свойств узлов стебля злака и поведение стебля во время сильных ветровых нагрузок, при которых должны быть обнаружены разнонаправленные колебательные движения междоузлий стебля по отношению к вертикальной оси);

б) как объект живой природы, подвергаемый анализу, измерению, или носитель его свойств — заменитель;

в) как модель — слепок с форм живой природы (например, слепок листа дерева, гриба и т.д.), являющийся искусственным носителем свойств живой природы;

г) как созданная на основе изучения природы модель в любом ее виде (например, испытание конструктивной модели на механические свойства);

д) как архитектурный объект для выявления проблемы, которая может быть решена с помощью методов архитектурной бионики.

Экспериментальными средствами исследования являются приборы, инструменты, аппараты, экспериментальные установки и другие орудия и вещества, при помощи которых экспериментатор воздействует на предмет исследования. Из всего разнообразия средств можно выделить следующие, в определенном смысле основные, основные виды: а) приготовляющие устройства (источники света или электрического тока, генераторы элементарных частиц или волн и т.п.); б) изолирующие устройства (вакуумные насосы и приборы, защитные экраны и т.п.); в) устройства, непосредственно осуществляющие воздействие на объект (механические нагрузки, тепловые воздействия, преломляющие среды, призмы для света, дифракционные решетки, магнитные поля, аэродинамические трубы и т.д.); г) средства усиления и преобразования (микроскопы, ускорители роста, красители и т.п.); д) регистрирующие и измеряющие устройства (шкалы, гальванометры, счетчики, самописывающие устройства, тензодатчики, приборы, регистрирующие нагрузки и деформации и т.п.).

В процессе исследования очень важно не нарушить экспериментальными средствами "естественный" ход изучаемого явления. И не случайно поэтому обращаются или к изучению реального носителя свойств, или к предварительным искусственным моделям. Например, для изучения мягких, быстро теряющих свою форму элементов растительного мира применяются снимаемые с них особым образом слепки (биологические модели). Таким образом, модели могут выступать и как объект, и как средство экспериментального исследования.

К.Маркс пишет, что средство труда "... данное самой природой становится органом его (рабочего — Ю.Л.) деятельности, органом, который он присоединяет к органам своего тела, удлинняя таким образом, вопреки библии, естественные размеры последнего" [1].

С одной стороны, средства труда дополняют биологическую ограниченность органов чувств человека, а с другой стороны, они являются проводником биологической моторности человека, влияющей определенным образом на результаты эксперимента.

Это одна из глубинных сторон действия законов архитектурной бионики на архитектурное творчество.

К числу средств, расширяющих сферу опытного исследования и опосредующих естественное познание, относятся вещественные модели, использование которых представляет собой особую форму эксперимента.

Не каждый эксперимент предполагает использование действующих моделей. Эксперимент нельзя также путать с моделированием в том смысле, как мы его понимаем (о чем говорилось выше). Моделирование — это отношение аналогий, тогда как эксперимент как отношение между явлениями, которые изучаются в данном единичном эксперименте и другими явлениями этой же области, есть отношение тождества, а не аналогий. Связано это с тем, что эксперимент проводится в самом явлении, а явление выступает как сама действительность. Эксперимент не может нарушать явление, более того, он должен вестись в рамках самого явления. Например, изучая механические принципы работы консоли — листа дерева, мы должны стремиться не нарушать естественный ход действия природных сил. Поэтому эксперимент с помощью моделей — особая форма эксперимента.

Отличительной особенностью структуры модельного эксперимента является его объективная сторона, характер средств исследования и их отношение к объекту исследования. Если в обычном эксперименте средства экспериментального исследования так или иначе непос-

редственно взаимодействуют с объектом исследования, то в модельном эксперименте взаимодействия нет, так как эксперимент проводится не на самом объекте, а на его "образе". Эксперимент как бы вынесен за пределы исследуемого объекта.

"Моделирование, — пишет академик Л.И.Седов, — это есть замена изучения интересующего нас явления в натуре изучением аналогичного явления на модели меньшего или большего масштаба..." [6].

Рассмотрим в этой связи возможную структуру архитектурно-бионического моделирования на примере моделирования получивших достаточно широкое распространение конструктивных форм живой природы. Собственно моделированию предшествует использование аналитических и экспериментальных методов исследования природы: изучение структуры выбранного объекта, его геометрических закономерностей, свойств материала, выделение по возможности конструктивной формы из состава функций, не имеющих отношения к функции архитектуры, выявление связи конструктивной формы с системой пространственной организации формы. На этом этапе с целью исследования свойств конструктивной формы (например, геометрии) с мягких, быстро утрачивающих свои очертания природных форм делаются слепки. В зависимости от сложности поставленной задачи процесс аналитических и экспериментальных исследований, предшествующий моделированию, может быть длительным.

В состав эксперимента в рассматриваемом примере может входить проверка той или иной гипотезы по механическим принципам работы конструкций или свойств материала живой природы непосредственно на биологических объектах. Это целая область экспериментальных исследований в архитектурной бионике, требующая специальной методики и специального материально-технического обеспечения. Результатом эксперимента будет выход на теорию напряженного состояния и методику расчета конструкций. В зависимости от того, проводились ли предшествующие моделированию экспериментальные исследования (испытания) формы живой природы (биологического объекта) на конструктивные свойства или нет, строится процесс моделирования, предполагающий в итоге два возможных результата.

Первый результат — создание относительно крупномасштабной гипотетической действующей конструктивной модели (1-го рода) без предварительного эксперимента с испытанием биологического объекта на конструктивные свойства. В связи с трудностями натурного эксперимента именно этот путь получил в настоящее время наибольшее распространение в архитектурной бионике. Подразумевается использование принципов построения конструктивной формы — идеи конструктивной формы и, как говорят инженеры, возможной "игры сил" в конструкции. Фактически это путь открытия (изобретательства) новых конструкций форм и систем, не исключающий и совершенствования отдельных их элементов.

О значении идеи конструктивной формы говорит следующий эпизод, рассказанный писателем Смайлом в его книге "Самостоятельность": "Инженер-мостовик Броун корпел у себя на веранде над проектом моста через раку Твид. Бумага перед ним была чиста, работа не клеилась, мост не получался. Отчаявшись, Броун оставил чертежную доску и пошел освежиться в сад.

Был конец лета. Цепкие, серебристые на солнце нити путались в кустах, плыли по ветру и Броун снимал их с губ и расщипывал. Стояло бабье лето, и много паутины появилось в саду. Броун прилеп под кустом, но сейчас же вскочил, моргая глазами. Он увидел в небе подсказку.

Он увидел в небе чертеж, ясно вычерченный серебряными линиями по голубому. Броун невольно прочел его так, как инженеры читают чертежи: маленький мост сиял в ветвях, удивительно легкий, простой и смелый. То был мост, а не просто паутина в ветвях. Ветер раскачивал ветви, но паутина не рвалась.

И чем пристальнее вглядывался Броун в эту паутину, тем все больше удлинялись и утолщались упругие нити, тяжелея у него на глазах. И уже не хрупкие ветви растгивали паутину, словно пружину в распыленных руках, — серые скалы держали железный мост, ржавые цепи колыхались над ущельем.

Теперь Броун знал, с чего ему начинать, к чему стремиться. Он опять засел за чертежи и расчеты и вскоре сделал изобретение. Он стал строить висячие мосты, без дорогих и сложных устройств, подпирющих мост снизу"¹.

Второй результат — получение единства конструктивной формы и конструктивных материалов, соответствующих исследуемому биологическому объекту, а также теоретических выводов о напряженном состоянии и возможной системы расчета конструкции. Этот результат приобретает вид относительно крупномасштабной действующей конструктивной модели 1-го рода, в которой проводится при помощи соответствующих технических средств корректировка механической работы и ее тектонических свойств. В архитектурно-конструктивном моделировании неизбежно возникает необходимость изучения и эстетических свойств конструктивной формы (ритмика, пропорции, симметрия и т.д.). Таким образом, в процессе моделирования продолжается субъективная деятельность экспериментатора. Вместе с тем к ней присоединяются объективные моменты — сама модель (фактически, экспериментальная установка) и технические средства ее испытания и анализа.

Каково же место модели в эксперименте? Нет сомнения в том, что она представляет собой часть изучаемого объекта. Но входит ли она целиком в его состав или чем-то от него отличается?

С одной стороны, модель — не самоцель, а средство изучения объекта, который она представляет (в нашем случае конструктивная форма природы представляет конструктивную форму архитектурного сооружения, сама же она сооружением служить не может). По отношению к этому целевому объекту модель — лишь средство экспериментального исследования.

С другой стороны, модель в данном эксперименте является предметом изучения в соответствии с поставленными задачами.

Таким образом, необходимо отметить двоякую роль модели и как объекта изучения, и как средства экспериментирования и познания действительности. Отсюда: использование модели изменяет структуру натурного эксперимента. Модель непосредственно в самом эксперименте не участвует. Поэтому эксперимент стоит как бы в стороне от моделирования. Но и натурный эксперимент, и научный анализ участвуют в подготовке к моделированию.

Модель в архитектурно-бионическом эксперименте служит средством не только решения поставленной цели, но и изучения (исследования) натурного объекта, а также замещения этого объекта в том случае, когда натурный по каким-либо причинам трудно исследовать.

Расширяя структуру архитектурно-конструктивного моделирования, можно указать на возможность моделирования условий, в которых натурный объект изучается, что дает более полную картину "поведения" биологического объекта и лучше раскрывает картину его конструктивной работы. В таких случаях может возникнуть комбинированный модельно-натурный эксперимент.

В архитектурно-бионическом моделировании очень важно, чтобы бионическая и архитектурно-бионическая модели стали максимальным источником информации о действительном, натурном объекте (естественно, в рамках поставленной задачи), отвечали бы максимальной объективности (в отличие от эксперимента, где

¹ Из книги В.И.Орлова "Трактат о вдохновении, рождающем великие изобретения". М., 1964.

больше теоретичности), иначе модели теряют свое познавательное практическое значение. В архитектурной же бионической практике имеются тенденции что-то "зацепить" в живой природе и затем на этом строить дальнейшие, часто широкие выводы, выдавая за источник их формирования живую природу. В этом случае субъективность подавляет ход истинного процесса, а результаты сводятся или к поверхностному заимствованию биологических процессов, или просто к стилизации (в плохом смысле) этих процессов.

Хотя идеальный эксперимент расширяет возможности экспериментального исследования объектов, в нем одновременно таится слабость по сравнению с натурным экспериментом. Включение теории в качестве звена, связывающего модель и объект, может стать источником ошибок, что снижает доказательную силу модельного эксперимента (но ни в коем случае не подрывает его значения). Несомненно, параллельное ведение натурального эксперимента и моделирования дает более полноценный результат в архитектурно-бионической, интегрированной модели.

Поскольку предмет архитектурной бионики двойствен (природа + архитектура), то и моделируются фактически два объекта — природы и архитектуры. Поэтому результаты модельного эксперимента экстраполируются и на природный, и на архитектурный объекты. Экстраполяция на природу дает, с одной стороны, развитие познания живой природы в архитектурно-бионическом аспекте, с другой стороны, данные для биологов, служащие основой для контактов с ними архитекторов. Теоретические обоснования экстраполяции — необходимая составная часть описания сущности всякого модельного эксперимента.

В связи с поставленной в исследовании проблемой моделирования возникает целый ряд и других вопросов, которые мы лишь вкратце осветим.

Прежде всего вопрос об отношении, с одной стороны, физической модели к биологическому объекту моделирования, с другой стороны, физической модели к объекту назначения — архитектуре.

Теоретической основой физического моделирования должна быть теория подобия. В данном случае, который связан с конструированием архитектурных форм, подразумевается теория подобия, относящаяся к механическому движению. В формулировку теоремы подобия включаются ограничительные условия о качественной однородности подобных систем: "Чтобы физические процессы были подобны друг другу, необходимо и достаточно, чтобы они были качественно одинаковыми, а их одноименные определяющие критерии подобия имели одинаковую величину [7]."

Фактическим основоположником такой теории подобия считают Галилея. Его основная идея заключается в утверждении единства геометрических отношений и физических свойств механических систем, что очень ценно для архитектурно-конструктивного моделирования и проведения в жизнь принципа "сопротивляемости по форме", установленного итальянским инженером П.Л.Нерви.

Однако теория подобия, ограничивающая сходство моделей с натурой лишь их физическими свойствами, в частности механическим движением, не дает полной картины отражения действительности и часто приводит к грубым ошибкам. В архитектурно-бионическом моделировании большое значение имеют не только физические свойства, но и единство физических и пространственно-геометрических свойств, обусловленных как механическим движением, так и более сложными, биологическими процессами, не говоря уже о психологических моментах восприятия формы и ее эстетических свойств. Например, мы привыкли к небольшим размерам листа дерева или лепестка цветка, и вдруг в архитектуре они принимают грандиозные размеры покрытий

пролетами сотни метров. Совершенно очевидно, что нельзя строить на основании простого копирования форм и структуры древесного тиста. То же относится и к моделям, которые также значительно отличаются своими размерами от природных форм.

Поэтому практика моделирования природных объектов во всех случаях выходит за пределы сравнительно ограниченного круга механических явлений и принимает форму более абстрактной теории подобия — изоморфизма, основанной на применении математических способов моделирования.

Понятие изоморфизма и более общее понятие гомоморфизма можно рассматривать как уточненные, формализованные виды аналогий, предполагающие отношение сходства, но не тождества. Как уже говорилось, для аналогий как отношений сходства характерны различие сопоставляемых элементов и одинаковость (тождество) отношений, т.е. законов связи между элементами двух систем.

Например, нельзя поставить знак равенства между стеблем растения пухляка и железобетонной фабричной трубой или Останкинской телевизионной башней. Однако отношения элементов их конструктивной системы (расположение арматуры, а в стеблях растений — механических волокон по периферии; наличие стягивающих хомутов; спиральная обмотка и в целом структура конструкций, представляющая род трубы) тождественны.

Изоморфизм и представляет собой взаимно однозначное (двухстороннее) соответствие таких систем, хотя понятие изоморфизма относительно и является строгим только для выделенных анализом элементов и связей.

Гомоморфизм же обозначает случаи меньшего сходства по сравнению с изоморфизмом. Если отношение фотографического отпечатка и негатива — это хорошая иллюстрация изоморфизма, то отношения между географической картой и местностью являют собой пример гомоморфизма. Однако и изоморфизм, и гомоморфизм основываются на родственных связях вещей.

Основой изоморфизма является тождество математической формы законов разных областей природы — механических, электрических, термодинамических, тепловых и т.д., т.е. источником аналогий являются основные принципы существования материи, наличие в природе и в обществе закономерностей, отражающих общий характер некоторых форм движения (в широком смысле этого слова).

Однако использование математических выражений, касающихся формализации моделей живого в архитектуре, ограничивается сферой объективных закономерностей самой архитектуры.

Вместе с тем нельзя забывать, что в основе эстетических отношений лежат объективные законы жизни, и поэтому использование математических методов в переходе от масштаба натуральных объектов к масштабу физических моделей, а затем архитектурных объектов весьма эффективно во всех отношениях и в архитектурной бионике.

С использованием математических методов возможно моделирование существенных, функциональных процессов живой природы и архитектуры. Общей основой здесь могут быть энергетические процессы. Например, решение проблемы наикратчайших связей между отдельными элементами функционирующей системы архитектуры, а отсюда и экономия человеческой энергии (принцип наименьшего действия), коммуникаций; экономия теплотеря, а отсюда решение вопроса компактности формы и ее соотношения с дифференциацией; вопросы затрат энергии общества на строительство зданий; экономия территории застройки и высота зданий и т.д.

Принцип аналогий (изогомоморфизма) позволяет использовать разные виды моделей, в которых модели-

руемое явление может воспроизводиться различными материальными средствами, не подобными друг другу. Так, механическую систему можно моделировать через электрическую, если за основу брать упругость, накопление энергии (массу), рассеивание энергии (демпирование), что дает возможность при их взаимодействии получать тождественные показатели на измерительных приборах. В архитектурно-бионическом моделировании, например, природную конструкцию можно моделировать из привычных нам материалов, абстрагируясь от природных, или всю систему архитектуры на большом отрезке истории представить в виде термодинамической системы.

Еще более общим, чем математический, является метод моделирования, применяемый в кибернетике. Рамки его применения значительно расширяются. Он проникает в области, которые до этого многие философы и естествоиспытатели, опасавшиеся возрождения механицизма, считали запретными для моделирования, т.е. в области биологических и социологических систем и процессов. Кибернетический метод моделирования проявляется в том, что он дает возможность абстрагироваться не только от конкретных форм вещей и явлений, но и от ряда конкретных и специфических отношений между элементами, т.е. от частных закономерностей. Кибернетика фиксирует свое внимание на общих законах функционирования управляющих и самоорганизующихся систем независимо от того, являются ли они социальными процессами, техническими устройствами (машинами), созданными человеком, или живыми организмами.

Использование кибернетических способов моделирования очень полезно для архитектурной бионики по двум причинам. Во-первых, этот способ дает возможность абстрагироваться от структур и вести моделирование только лишь на уровне функционирования. Вместе с тем он позволяет глубже познать взаимодействие функции и структуры. Во-вторых, кибернетический метод моделирования универсален и потому применим в различных отраслях архитектурной бионики. Однако в универсальности таится и опасность ухода от специфики моделируемого объекта, что, как известно из предыдущего материала, восполняется методами моделирования, основанными на принципах аналогий и гомологий, проводимых в моделировании не только на уровне результатов "на выходе" сравниваемых функционирующих систем и их функций или в поведенческом срезе, но и на уровне структур, материалов или элементов, из которых состоят структуры¹. Надо сказать, что последние уровни именно и характерны для вещественных (физических) моделей в архитектурной бионике.

Взаимосвязи функции и структуры будет уделено специальное внимание в гл. 1У. Здесь же мы, забегая вперед, выскажем лишь несколько предварительных соображений по этому вопросу, ориентируясь на моделирование.

Несмотря на отсутствие однозначной зависимости функции от структур и жесткой связи между ними, все же известная взаимосвязь между ними имеется. Диалектическая точка зрения на взаимосвязь функции и структуры в архитектурно-бионическом моделировании может способствовать его результативности.

По мнению ученых, модель можно считать удачной по крайней мере при двух условиях. Во-первых, когда она демонстрирует поведение, подобное поведению моделируемого объекта. Во-вторых, когда на основе изучения поведения (функции) и структуры этой модели

можно обнаружить новые, не известные до сих пор особенности или свойства оригинала, не содержащиеся в нем в явном виде.

В архитектурной бионике на этапе бионического, экспериментального моделирования возможно также воспроизведение функционального, поведенческого процесса живой природы (технология производства материалов, моделирование роста и развития природных структур — алгоритма взаимодействия этапов роста и др.).

В этом случае используются технические средства, в задачу которых не входит воспроизведение в модели всех конструктивных деталей оригинала. Причем, имеется стремление к совершенствованию структуры (например, конструкции), к приданию ей гибкости, надежности, экономичности и т.д. на основе изучения оригинала.

Возможна и другая линия — моделирование структуры (конструкции) оригинала, выполняющей те или иные функции, например трансформации. В этом случае система движения элементов в пространстве, удовлетворяющая определенным функциям организма, тесно связана с его структурой и формой отдельных его элементов (спиралевидное раскрытие элементов цветка флоксы, радиальное — лепестков календулы и пр.). Сюда же входит наличие каналов обратной связи, по которым циркулируют вода или газы, регулирующие давление в узлах, а следовательно, и движение элементов формы организма. Поэтому изучение структуры может стать основанием для расширения функциональных возможностей моделируемого объекта (трансформируемая кровля, координация движения элементов конструкции зданий в сейсмических условиях, амортизация вибрации звуковых стрессов и т.п.).

Обе линии моделирования основываются на имеющей место, хотя и диалектически противоречивой, взаимосвязи функций и структуры. В итоге такое взаимодействие дает возможность экстраполировать и формообразование живого оригинала, т.е. выявить на модели с различной степенью достоверности возможные варианты поведения живого организма. Естественно, при этом необходимо стремиться к максимальной достоверности, иначе теряется смысл всего архитектурно-бионического моделирования и приобретает приоритет субъективный фактор, остро ставящий вопрос о целесообразности архитектурно-бионических исследований. Все это не исключает вероятности и пользы получения отрицательных выводов.

Диалектическая точка зрения на взаимосвязь функций и структуры открывает как в экспериментальном, так и в результативном моделировании возможность прогнозирования моделируемых процессов.

ЭЛЕМЕНТЫ АРХИТЕКТУРНО-БИОНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

"... Парашют мы изобрели в двадцатом веке. Одуванчик избрал его миллионы лет назад. ... вся графика этого удивительного приспособления достойна самого точного и красивого чертежа, не говоря об инженерных и математических расчетах. Вес семечка, длина ножки, площадь зонтика — все находится в строгом математическом соответствии, и если бы современные инженеры при помощи логарифмических линеек и счетных машин взяли бы рассчитать подобный воздухоплавательный аппарат с точки зрения оптимальности его пропорций, то они пришли бы к пропорциям и форме аппарата, который вы держите на своей ладони и которые во множестве летают по воздуху в ветреный петний день"[9].

Эта цитата, заимствованная из очерка "Травы" Владимира Солоухина (1972 г.), могла бы послужить своего рода программой для интересного и практически полезного бионического исследования, направленного на разработку не только конструкции нового летательного аппарата, но и конструктивной архитектурной формы. (Кстати, это "удивительное приспособление" находится

¹ Г.Клаус делает вывод о том, что совпадение этих четырех уровней аналогий является в идеале прадпосылкой перехода от аналогий к тождеству [8].

в поле зрения архитекторов-биоников.) Писатель выразил не только идею целесообразности, гармонии систем живой природы, но и методическую сущность бионического подхода к исследованию этих систем.

Вместе с тем реализация этого метода не столь проста, как может показаться на первый взгляд. Если бы инженеры создали аппарат, пропорции и форма которого строго соответствовали бы геометрии зонтика одуванчика, то такой аппарат (не в укор писателю) попросту не смог бы летать. Почему? Чтобы ответить на этот вопрос, достаточно вспомнить красивую и трагическую легенду об Икаре или, например, кадры кинохроники о начальном этапе развития авиации. Подобные ситуации возникали, очевидно, и в архитектуре. Стоит ли удивляться, если однажды историки обнаружат, что Вавилонская башня проектировалась зодчими, которые аппелировали к коэффициенту стройности злаковых растений и к их эволюционной "родословной", насчитывающей добрый десяток миллионов лет. Впрочем, в те времена теория методов размерности и физического подобия еще не была разработана. Но как тогда понимать появляющиеся в наше время проекты башен высотой чуть ли не до орбит искусственных спутников Земли, поражающие воображение так же, как и нелепые здания-пингвины для застройки арктических земель? Такие "удивительные приспособления" зачастую отождествляются с практикой архитектурной бионики, т.е. с архитектурно-бионическим моделированием систем живой природы. Но так ли это на самом деле?

Нами уже неоднократно подчеркивалось, что архитектурной бионике чужды идеи биологизации архитектуры, бессмысленного копирования геометрических форм или структур живой природы. Чтобы лучше понять идеи, принципы и методы, которые использует архитектор-бионик в своей практической деятельности, целесообразно познакомить архитекторов и специалистов других профессий с "кухней" его творчества. Понятно, что в полном объеме мы не сможем этого сделать, но в общих чертах показать некоторые стороны деятельности архитекторов-биоников считаем необходимым.

Архитектурно-бионическое моделирование (АБМ) переживает в настоящее время период своего становления. Методы АБМ еще далеко не разработаны, однако в этом направлении ведется активная работа. В методическую структуру АБМ входят бионические, физические, математические и другие методы исследований, заимствованные из соответствующих научных дисциплин, но архитектурные методы в этой структуре доминируют, создавая ту специфику, которая характерна для любого научного направления.

Практика АБМ включает в себя уже целый ряд работ, среди которых — работы по архитектурно-бионическому моделированию вертикальных конструктивных систем живой природы, проводимые ЦНИИТИА, ЛенЗНИИЭП, КиевЗНИИЭП и другими организациями Советского Союза, работы Ф.Отто и др.

Удачный выбор биологического объекта моделирования определяется зачастую не только биологическими познаниями, математической подготовкой архитектора, но и его реальными возможностями исследовать этот объект. Практика АБМ показала, в частности, что архитектор в очень редких случаях может воспользоваться в полной мере той информацией, которая имеется в научных публикациях и литературе по биологии. Это связано с тем, что биологи решают свои специфические задачи, поэтому архитектор вынужден проводить самостоятельные биологические исследования исходя из архитектурных целевых установок.

В качестве примеров, иллюстрирующих характер и методику АБМ, мы выбрали отдельные оригинальные исследования, связанные с разработкой вертикальных конструктивных систем, систем-оболочек, трансформи-

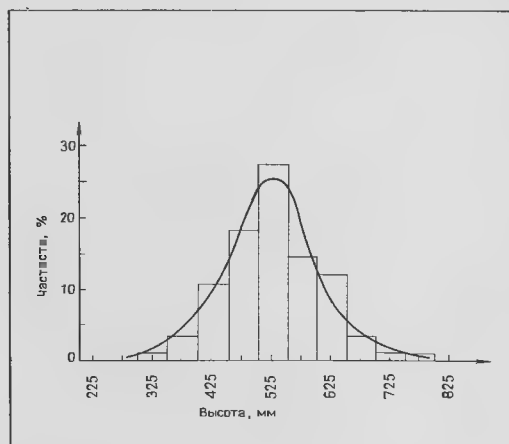


Рис. 2. Вероятностное распределение высоты растения *Trollius europaeis* L. (длины стебля, измеряемой от корневой шейки до основания чашелистика цветка)

руемых систем и др. Эти примеры представляют собой отдельные фрагменты из научных отчетов. Литературный стиль таких отчетов может показаться несколько необычным для архитекторов. Поэтому рекомендуем сначала познакомиться с соответствующими графическими материалами к каждому примеру.

Пример 1.

Тема: Исследование вертикальных конструктивных форм живой природы (Ю.С.Лебедев, В.Ф.Жданов при участии Л.И.Беловой).

В 1970–1980 гг. с целью изучения геометрических свойств вертикальных конструктивных форм биологических объектов и разработки методов архитектурно-бионического моделирования этих объектов были предприняты исследования купальницы европейской (*Trollius europaeis* L.) — многолетней травы из семейства лютиковых (*Ranunculaceae*). Эта трава, зацветающая на девятый год желтыми и желто-оранжевыми красивыми цветами, известна также по широко распространенным местным названиям, например "жарки", "жаркий цвет", "авдотка", "сиверушка", "прикрыт" и др.

Сбор экземпляров купальницы на стадии цветения осуществлялся в Подмоскovie (50 экз.) и на Кольском полуострове в Заполярье (31 экз.). Измерения весовых и геометрических характеристик производились на месте в условиях полевой лаборатории. Линейные размеры — длина (высота) несущего стебля растения, длина междоузлий измерялись с точностью $\pm 0,5$ мм; предельная относительная ошибка измерений диаметра междоузлий, а также веса органов и в целом всего растения не превышала $\pm 10\%$.

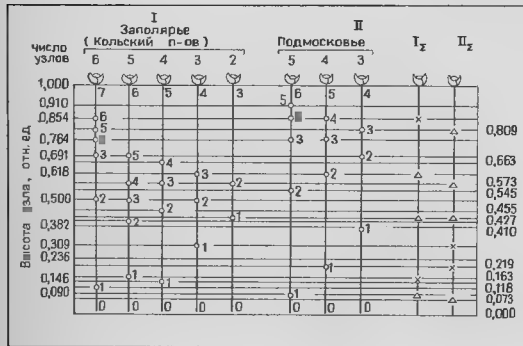
Высота несущего стебля купальницы, измеряемая от корневой шейки растения до основания чашелистика цветка, изменяется в пределах 37–78 см. Вероятностное распределение данного параметра соответствует нормальному закону (рис. 2); среднее его значение для всех собранных экземпляров равно 55,1 см; коэффициент вариации $\pm 16\%$. Различия средних значений длины стебля растений, собранных в Заполярье и Подмоскovie, статистически незначительны. Однако имеется статистически достоверное различие в вариациях этого параметра: для растений Заполярья коэффициент вариации данного параметра равен 19%, в то время как для купальницы из Подмоскovie этот коэффициент составляет 13%. Возможно, что уровень вариации высоты растений и других характеристик зависит от степени и характера проявления абиотических факторов среды обитания.

Несущий стебель купальницы содержит не более восьми междоузлий. Из табл. 1 видно, что наиболее распространены растения с 3–4 узлами (4–5 междоузлий) на стебле.

Таблица 1

Число узлов	2	3	4	5	6	7
-------------	---	---	---	---	---	---

Частота встречаемости растений с данным числом узлов, %	1,2	33,3	50,6	9,9	3,7	1,2
---	-----	------	------	-----	-----	-----



Продолжение табл. 2

I ₂	I ₅	I ₄	I ₃	I _Σ	I _Σ
	0,090			0,146	0,191
	0,056	0,146		0,236	0,236
	0,090	0,090	0,191	0,191	0,118
0,427	0,219	0,146	0,118	0,264	0,191
0,146	0,455	0,399	0,309	0,073	0,146
0,427	0,090	0,219	0,382	0,090	0,073

* Линейные размеры междоузлий даны относительно максимальной высоты (длины) стебля (позиция 0) растения, измеренной от корневой шейки стебля до основания чашелистника цветка.

Здесь: I, II — растения произрастающие в Заполярье и Подмоскowie соответственно; цифровой индекс указывает на число узлов стебля. Нумерация узлов соответствует схеме, приведенной на рис. 4;

I_Σ, II_Σ — обобщенные статистические модели расположения узлов на стебле растений Заполярья и Подмоскowie соответственно.

На графике рис. 5 видно, что вариация длин междоузлий по мере продвижения к вершине побега убывает в среднем с 50 до 15%. Этот факт указывает на определенную корреляцию размеров междоузлий и уменьшение адаптационных возможностей (в геометрическом плане) растений по мере их роста. Последова-

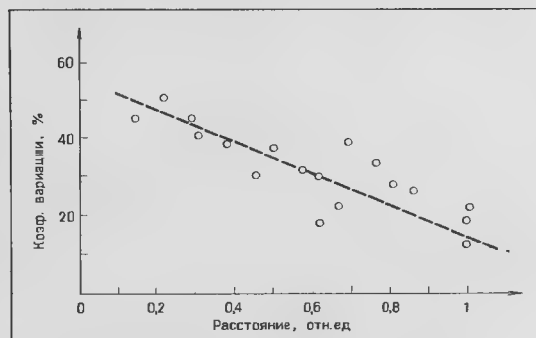
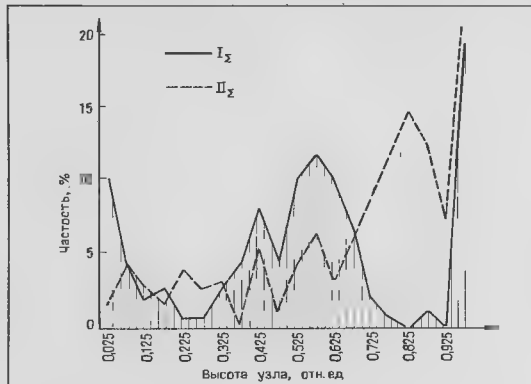


Рис. 3. Вероятностное распределение расстояний вдоль стебля растения *Trollius europaeus* L. I_x, I_x — обобщенные кривые, собранные на Кольском п-ве в Заполярье и Подмоскowie соответственно (за единицу принято расстояние от корневой шейки стебля до основания чашелистника цветка)

Рис. 4. Статистические модели размещения узлов вдоль стебля растения *Trollius europaeus* L. I_x, I_x — обобщенные статистические модели растений соответственно Заполярья и Подмоскowie

Рис. 5. Изменение коэффициента вариации высот узлов вдоль стебля растения *Trollius europaeus* L.

тельное суммирование длин междоузлий побегов купальницы приводит к статистическим моделям размещения узлов вдоль стебля растения. На схеме рис. 3 видно, что характер размещения узлов определяется их числом и местом обитания растения. При этом для растений Заполярья размеры верхних междоузлий систематически оказываются большими, чем размеры аналогичных междоузлий стеблей растений Подмоскowie.

Измерения диаметров междоузлий показывают, что их относительные значения также можно представить в виде числового ряда, каждый член которого является функцией "золотого сечения". Наибольшее значение диаметра характерно для верхнего конца первого междоузлия; среднее значение 3 мм. Наименьший диаметр соответствует верхнему концу последнего междоузлия (основание чашелистника цветка); среднее его значение находится в интервале 1,8–1,9 мм. Коэффициент вариации диаметров каждого междоузлия равен в среднем 17%.

На основании полученных результатов можно построить различные геометрические модели стебля купальницы. Одна из таких моделей и ее геометрические характеристики представлены на рис. 6 и в табл. 3. На поперечных разрезах стебля (в произвольном масштабе относительно размеров конструкции), зарисовки которых были сделаны в полевых условиях, видно, что у основания конструкции (первое междоузлие) фигура сечения имеет форму окружности, которая затем сменяется формой многоугольника с 13 (11–15) вершинами (второе междоузлие), переходящего по мере продвижения к вершине в восьмиугольник; при этом изменение фигуры сечения сопровождается ее вращением, а рабра жесткости — каннелюры — образуют винтовую поверхность.

Из рис. 6 видно также, что конструктивные свойства стебля постоянно изменяются от корневой шейки к основанию чашели-

Таблица 3

Тип	Порядок междоузлий	Длина	Диаметр	Расстояние от основания до узла	Фигура
II (Подмостковые)	0—1	0,219	$\frac{0,854}{1}$	0,219	Усеченный конус
	1—2	0,399	$\frac{0,91}{0,91}$	0,618	Цилиндр
	2—3	0,146	$\frac{0,91}{0,809}$	0,764	Усеченный конус
	3—4	0,09	$\frac{0,809}{0,764}$	0,854	То же
	4—5	0,146	$\frac{0,764}{0,618}$	1	”

листика цветка; эти изменения качественно согласуются с изменением объемного веса стебля растения (рис. 7) (интересно, как изменяется этот параметр у современных высотных зданий?).

Соотношение диаметра стебля растения и его высоты равно примерно 5×10^{-3} , т.е. высота растения примерно в 200 раз больше его диаметра. Однако из этого не следует однозначный вывод о возможности создания архитектурных или инженер-

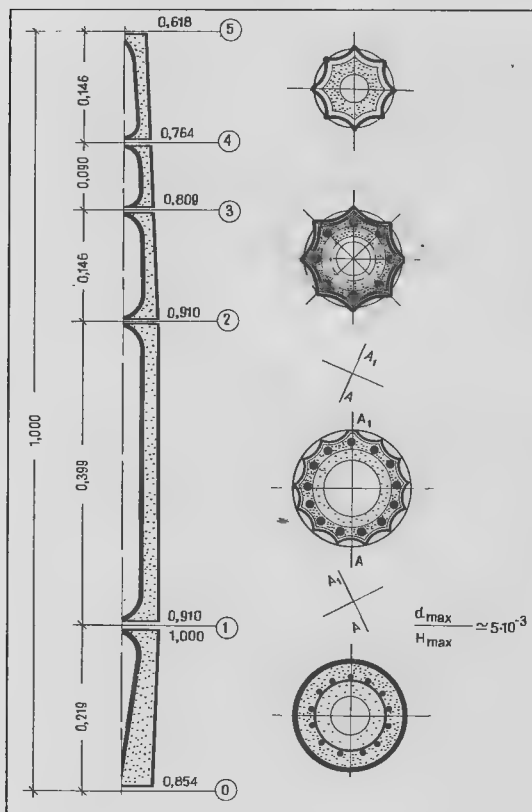


Рис. 6. Геометрическая модель стебля растения *Trollius europaeus* L. (тип II). Продольный разрез с указанием относительных размеров междоузлий и их диаметров и поперечные срезы стебля, наблюдаемые от основания до вершины стебля

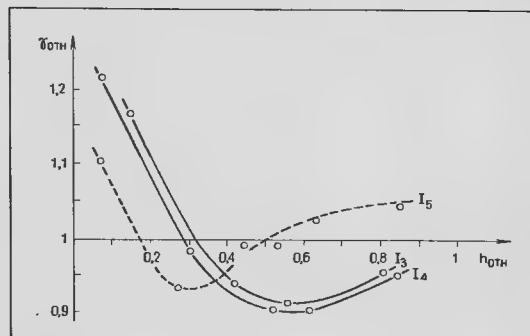


Рис. 7. Изменение удельного объема междоузлий вдоль стебля растения *Trollius europaeus*

(точки — экспериментальные данные; кривые проведены визуально)

ных сооружений с подобным соотношением параметров, так как речь идет не о физическом, а о геометрическом подобии.

Как видно из табл. 4, масса стебля наиболее изменчивая характеристика (коэффициент вариации 46%). Вероятностное

Таблица 4. Геометрические и физические характеристики стебля *Trollius europaeus* L. на стадии цветения (экземпляры собраны в Заполярье)

Характеристики	Оценка параметра	Интервал изменений	Коэффициент вариации, %
Высота, см	$55,0 \pm 10,7$	37–78	19
Площадь поверхности, см ²	$41,8 \pm 12,2$	—	29
Объем, см ³	$1,76 \pm 1,00$	—	37
Масса (вес), г	$1,80 \pm 0,82$	0,5–5	46
Объемный вес, г/см ³	$0,68 \pm 0,06$	—	8

распределение массы растения в целом (без учета корней) удовлетворительно аппроксимируется функцией равномерного распределения; в среднем масса индивидуального растения составляет $3,6 \pm 1,5$ г, т.е. в 2 раза выше среднего значения массы стебля.

Исследования показали, что между суммарной массой листьев и высотой стебля купальницы имеется положительная статистическая корреляция; коэффициент корреляции изменяется в большом интервале — 0,46–0,85 и в среднем равен 0,7. Иначе говоря, чем выше растение в период цветения, тем больше суммарная масса его листьев.

Наблюдаются следующие весовые соотношения между отдельными органами растения (в сыром состоянии):

$$\frac{\text{масса стебля}}{\text{масса растения}} = 0,82 \pm 0,08 \quad [0,48 \div 0,75];$$

$$\frac{\text{масса листьев}}{\text{масса растения}} = 0,27 \pm 0,08 \quad [0,14 \div 0,40];$$

$$\frac{\text{масса цветка}}{\text{масса растения}} = 0,11 \pm 0,08$$

(в квадратных скобках приводится интервал изменения данных соотношений; масса корневой системы при определении массы растения не учитывалась).

Из вышеприведенных весовых соотношений можно составить уравнение золотого сечения.

Забегая несколько вперед, напомним, что золотое сечение — это среднее пропорциональное в отношениях большей части целого к его меньшей части и целого к его большей части. В нашем случае:

$$\frac{\text{масса стебля}}{(\text{масса листьев} + \text{масса цветка})} = \frac{\text{масса растения}}{\text{масса стебля}}.$$

Если обозначить через M — массу растения, то масса стебля будет равняться $0,62 M$, масса листьев — $0,27 M$ и масса цветка —



Рис. 8. Моделирование конструктивной формы листа пластинки *Viktoriya amazonika*

Общий вид листа и фрагмент (вид снизу); выделение конструктивного элемента; геометрическая модель конструктивного элемента; макет трансформируемой оболочки (см. с. 66)

0,11M. Из этих данных составим уравнение золотого сечения:

$$M/0,62M = 0,62M / (0,27M + 0,11M) = 1/0,62 = 0,62/0,38 = 1,62.$$

Интересно, что аналогичный факт отмечается и для весовых соотношений между отдельными органами деревьев. 8 табл. 5 приведены результаты измерений массы сухих листьев, ветвей, стволов и корней деревьев в дубовых лесах лесостепи [9].

Таблица 5. Масса в сухом виде отдельных органов деревьев в дубовых лесах различного бонитета (т/га)

Бонитет	Возраст, лет	Листья	Ветви	Стволы	Корни	Всего
I	55	3,3	28,6	167	87,5	284,4
II	52	3,9	23,5	166,1	50,8	244,3
III	55	2,3	19,7	97,1	29,8	149,4
IV	47	2,6	15	53,9	39,1	110,6

Относительная масса (среднее значение)

0,02 0,11 0,6 0,27 1

Если вычислить относительные значения этого параметра для каждого органа, то можно получить следующие результаты:

$$\begin{aligned} \text{масса листьев} + \text{масса стволов} &= 0,62; \\ \text{масса ветвей} + \text{масса корней} &= 0,38. \end{aligned}$$

Очевидно, что такие аналогии не случайны.

Еще один пример; взвешивание единственного произвольно выбранного экземпляра подсолнечника показало, что отношение массы стебля к массе растения в целом (без учета массы корней) в период его цветения равно 0,38, а отношение суммарной массы листьев и цветка к массе растения — 0,62.

Обсуждение подробного анализа полученных результатов исследования и соответствующие выводы будут опубликованы в специальных научных журналах. На данных примерах мы попытались показать лишь начальный биологический этап архитектурно-бионического моделирования; в нашем случае процесс исследования соотношений геометрических и физических характеристик биологического объекта и построение присущей ему геометрической модели.

Пример 2. Интересный в конструктивном отношении и в то же время удобный объект моделирования — лист многолетнего водного растения Южной Америки, известного под названием Виктории рагии (*Victoria regia*). Выбор этого объекта определяется темой "Ветвящиеся конструктивные формы живой природы" (Ю.С.Лебедев, В.Ф.Жданов при участии Е.Ю.Булгаковой). В данном примере мы не останавливаемся подробно на математическом анализе конструкции листа Виктории рагии, а даем лишь краткую сводку полученных результатов. Но в отличие от примера 1 здесь показывается следующий, второй этап архитектурно-бионического моделирования (названный нами выше этапом бионического моделирования) — геометрическая модель листа Виктории рагии, используемая для создания модели трансформируемой оболочки.

У наиболее крупного вида Виктории рагии — Виктории амазонской (*Victoria amazonica*) диаметр пластинки листа (рис. 8) может достигать 2,17 м. У зрелых растений края листа загнуты вверх в виде бортика, высотой около 14–18 см. Снизу лист Виктории рагии покрыт сетью прожилок, выделяющихся в виде рабер высотой до 8 см и толщиной до 3 см. Вместе с поперечными перегородками рабра образуют прочную жесткую конструкцию листа [10].

На рис. 8 показаны отдельные стадии моделирования формы и конструкции листа этого экзотического растения. Контур листа хорошо аппроксимируется двумя одинаковыми, противоположно направленными погариформическими спиралями, симметричными относительно оси AA' . Сеть прожилок листа в радиальном направлении образована процессом ветвления рабер, в в поперечном направлении (по концентрическим окружностям) — серповидными схватками — внастомозами. Различие в координатах точек ветвления по всей площади листовой пластинки обусловлено, очевидно, процессами роста и развития, а также конструктивно-адаптационным фактором. Логически исключая их воздействие, можно выделить типичный структурный (или конструктивный) элемент, который показан на рис. 8 толстой линией.

Как видно из схем рис. 8, этот элемент является реализацией дихотомически ветвящегося процесса с тремя точками ветвления, не считая начальной точки, соответствующей центру окружностей, которые могут быть проведены через точки ветвления. В принципе, число последних может быть доведено до четырех. Далее процесс ветвления заканчивается. Расстояния между точками ветвления в радиальном направлении от центра к периферии равны между собой; этот факт имеет весьма важное значение с точки зрения стандартизации конструктивных



рашений элементов при архитектурно-бионическом моделировании данной системы.

Выделенный конструктивный элемент обладает зеркальной симметрией относительно радиальных направлений. Кроме того, для каждого конструктивного элемента характерна круговая симметрия 5-го порядка, что позволяет производить трансляцию его за счет пятикратного вращения вокруг начальной точки, совпадающей с центром концентрических окружностей. Расчет геометрических характеристик элемента не представляет собой каких-либо затруднений. Заметим только, что если определенным образом соединить между собой точки первого и второго ветвления прямыми линиями, то можно получить "золотой прямоугольник".

Геометрический анализ показывает, что координаты точки ветвления могут быть отождествлены с узлами экспоненциальной решетки, образованной дискретным вращением одинаковых и противоположно направленных логарифмических спиралей, полюс которых размещается в начальной (нулевой) точке ветвления, совпадающей с центром концентрических окружностей.

8 архитектурно-бионическом аспекте моделирования конструктивного элемента Виктории регии реализуются два основных направления использования геометрии конструкции, во-первых, для расчетов несущих конструкций большепролетных зданий, мостовых ферм, укрытий, искусственных островов и т.п. и, во-вторых, для разработки трансформируемых систем-оболочек.

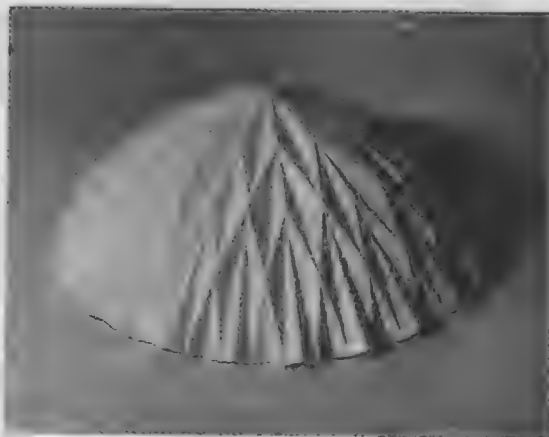
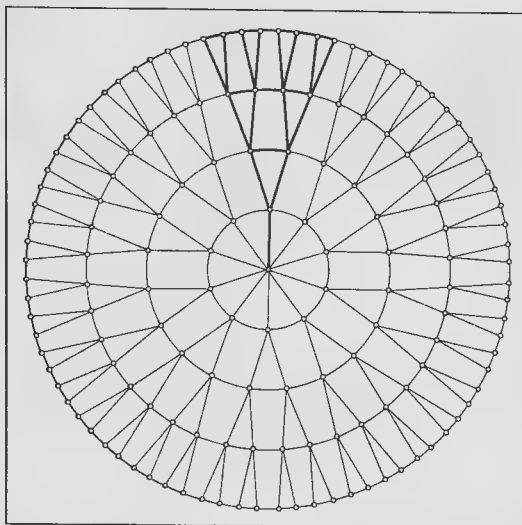
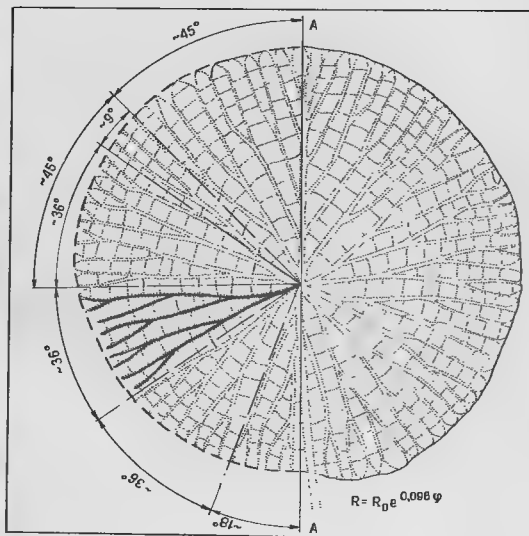
В частности, на рис. 8 показан макет такой оболочки. Чтобы трансформации оболочки в плоскость и обратно были осуществимы, в конструкцию вместо элементов ветвления и поперечных элементов должны быть введены радиальные и диагональные элементы, соединяющие узлы ветвления.

Помимо перечисленных основных направлений использования данной конструктивной системы в зданиях и сооружениях можно говорить о внедрении ее в различных отраслях техники (колеса, шестерни, антенны радиотелескопов, манипуляторы и др.).

Предполагается, что данная конструкция по сравнению с аналогичными обладает меньшей материалоемкостью (в 1,7 раза), а также более технологична в изготовлении и при возведении.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК-СКОРЛУП

Архитектурные оболочки имеют критерии, являющиеся определяющими, например, прочность по форме, сопротивляемость аэродинамическим, снеговым на-



грузкам, минимум строительного материала и максимум использования объема.

Принципы формообразования биоконструкций особенно целесообразно использовать в задачах оптимального проектирования. При выборе биомодели необходимо учесть ее соответствие перечисленным критериям, а также влияние на оптимальный проект вариации параметров.

Одна из совершенных природных форм — скорлупа птичьего яйца. Она относится к оптимальным структурам: ее основное преимущество — минимальный расход материала, обеспечивающий требуемую прочность. Структуры, подчиняющиеся закону минимума, имеют аналогии в живой природе. Благодаря современным методам конструктивного и математического расчета можно совершенствовать структуры с помощью постоянных испытаний моделей.

Математической моделью некоторых оболочек-скорлуп являются многофокусные поверхности, отличающиеся широким диапазоном изменения кривизны и асимметричностью формы, что соответствует бионическим моделям, с одной стороны, и функциональным требованиям к архитектурным оболочкам — с другой. Образующими этих поверхностей являются многофокусные кривые (см. также гл. У1).

В зарубежной литературе дается описание использования многофокусных кривых для решения задач оптимизации.

В наших исследованиях аналитическое выражение кривых и поверхностей позволило определить основные параметры и геометрические характеристики с использованием ЭВМ, что открыло перспективы для отбора оптимальных форм. Математическая модель дала возможность применять ЭВМ в ряде аналитических исследований бионических моделей и создавать их чертежи в соответствии с задачей, поставленной Центральной лабораторией архитектурной бионики ЦНИИТА Госгражданстроя.

Для более эффективного исследования биоформ, выявления основных критериев, определяющих их пригодность для строительной практики, и составления рекомендаций по проектированию целесообразно проведение испытаний физических моделей на разные нагрузки.

Изготовление физических моделей — самостоятельная и довольно сложная задача: от точности их изготовления зависит и точность результатов испытания. При дальнейшем увеличении формы необходимо определение коэффициента подобия, так как криволинейные бионические формы увеличиваются не по линейным законам.

Возможность использования ЭВМ для расчета геометрических параметров позволила создать программы для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и изготовить физические модели биоформ. Изготовление физических моделей для нужд архитектурной практики впервые было осуществлено в 1972 г.

Использование станков с ЧПУ открывает широкие перспективы для получения большого количества различных вариантов моделей сложной кривизны, значительно сокращает время изготовления и повышает точность соответствия заданному образцу.

Проектирование архитектурных оболочек связано с изготовлением множества чертежей и проведением расчетов. С целью ускорения процесса проектирования целесообразно применение ЭВМ для расчета параметров и изготовления чертежей на графопостроителе.

В этой связи осуществлена подготовка задачи и проведена определенная работа по созданию пакета и прикладных программ (ППП) комплексной автоматизации расчета основных геометрических параметров, изготовления чертежей и физических моделей оболочек-скорлуп.

При использовании биоформ в архитектурном проектировании довольно часто берется не вся оболочка, а ее часть, поэтому очень важно знать параметры сечений и иметь их чертежи.

Составление алгоритмов по заданным уравнениям и построение чертежей на графопостроителе производилось в лаборатории бионики Института проблем управления АН СССР.

Уравнение математической модели меридионального сечения птичьего яйца $y^2 = 3/4x(2-x)[1-\beta^2/(x+1)^2]$ дало на графопостроителе семейство кривых с диапазоном изменения коэффициента кривизны $\{0 \leq \beta \leq 1$, где β — коэффициент кривизны; x, y — текущие координаты; x — изменяется в пределах $0 \leq x \leq 2$.

С помощью сечения оболочки яйца плоскостями, параллельными оси x : $y = \sqrt{3/4x(2-x)[1-\beta^2/(x+1)^2]} \cdot h$, получен ряд кривых сечений, изменяющих параметры и кривизну с изменением величины h , где h — высота сечения над осью x .

Параметры этих сечений необходимы для определения опорного контура оболочки и изготовления его чертежей. В дальнейшем при расчете статики сооружения они позволяют рассчитать усилия.

Аэродинамические испытания оболочек-скорлуп проведены в Киевском институте инженеров гражданской авиации на физических моделях, изготовленных из оргстекла на станках с ЧПУ. Продувка моделей проводилась в аэродинамической трубе. При испытании ставилась задача нахождения особенностей обтекания подобных тел при различных углах обтекания и наличия влияния экрана (земли). Испытывались яйцевидные и эллиптические модели.

Основой эксперимента было нахождение коэффициента сопротивления по формуле $C_x = 2F/\rho V_0^2 S_x$, где F — сила; V_0 — скорость набегающего потока; ρ — плотность воздуха (у земли); S_x — площадь Миделя. Продувка делалась без экрана и при наличии экрана, учитывающего влияние земли. Диапазон чисел Рейнольдса при проведении испытаний находился в пределах $(2,01 - 2,6) \times 10^5$.

В результате испытания установлено, что модель яйцевидной, асимметричной формы имеет меньшее лобовое сопротивление, чем симметричная, эллиптическая. При сравнении результатов продувки с данными СНиП для сферической оболочки зданий и сооружений получено значительное улучшение аэродинамических характеристик бионических моделей.

Аэродинамические исследования моделей оболочек стали к настоящему времени необходимой составной частью комплекса экспериментальных работ, выполняемых при проектировании с целью обеспечения надежного прогнозирования их качеств.

Натурные испытания оболочек бионических форм проводились лабораторией пневмоконструкций ЦНИИСК Госстроя СССР.

Результаты натурных испытаний имеют хорошую корреляцию с макетными испытаниями, что еще раз подтверждает возможность использования физических моделей для определения аэродинамических коэффициентов. Математическая модель оболочек-скорлуп позволяет решать вопросы оптимизации и сокращает сроки проектирования.

Проведенные исследования бионических форм дали возможность использовать их в ряде проектных решений оболочек общественных зданий и сооружений.

В последующих главах книги развитие методов АБМ будет продемонстрировано на некоторых завершенных работах. Здесь мы попытались лишь дать представление о начальных этапах моделирования и о том аппарате исследования, который должен быть на вооружении у архитектора-бионика.



Глава 4

ГАРМОНИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В АРХИТЕКТУРЕ И В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ



ЕДИНСТВО ФУНКЦИИ И ФОРМЫ — ОБЪЕКТИВНАЯ ОСНОВА ГАРМОНИИ

Понятие гармонии сложилось в античное время как характеристика определенного, упорядоченного состояния мироздания, окружающей человека живой природы.

Смена времен года, дня и ночи, определенные периоды цветения растений, цикличность роста и развития живых организмов, их умирание и возрождение привели к таким понятиям, как ритмы, симметрия — асимметрия, пропорции, тектоника и др., ставшие в процессе развития искусств, архитектуры основными средствами гармонизации форм как выражения единства объективно-субъективных законов художественного творчества. В сфере интересов архитектурной бионики находится и этот аспект изучения живой природы с архитектурными целями.

Объективной основой гармонии в живой природе и архитектуре является взаимодействие функции и формы. Проблема функции и формы в утилитарном плане в архитектуре заключается в том, чтобы найти такое соответствие формы (технических средств формообразования), которое бы наиболее полно обеспечивало функционирование архитектурного объекта, т.е. удовлетворение определенных социальных потребностей человека.

Здесь могут быть различные качественные уровни обеспечения функционирования.

В диапазоне качества функционирования архитектурного объекта возможны различные варианты взаимодействия функции и формы, возникающие в связи с адаптацией архитектуры к разнообразным условиям формирования ее объектов.

В известные архитектурно-исторические эпохи на проблему соотношения функции и формы складывались свои взгляды, выразившиеся в концепциях "функционализма" и "формализма".

Мы не задаемся целью решить все научные вопросы, касающиеся взаимосвязи функции и формы в архитектуре, однако изучение аналогичных отношений в живой природе, думается, поможет пополнить наши познания об этой сложной системе.

Живая природа открывает нам законы гармонии взаимосвязи функции и формы. Их конкретные образы могут и не совпадать с архитектурными, хотя есть прецеденты и обратного (например, постройки человека и животных). Вместе с тем известно, что любой принцип или закон может проявляться в разнообразных конкретных видах, что дает основание пользоваться законами, общими для архитектуры и живой природы.

Проблема гармоничного взаимодействия функции и формы приводит нас к широко сейчас изучаемому понятию системности и целостности [2].

Обратимся к существу понятия функции и формы и к их трактованию в архитектуре и живой природе.

Как известно, в жизни не может быть функции без формы, а формы без функции. Однако существуют и относительно самостоятельные закономерности развития и функции, и формы, на стыке которых возникают противоречия, заставляющие искать пути их разрешения и на уровне творческого процесса архитектора, и на уровне строительной технологии.

В философии и архитектуре рассматривается взаимосвязь "содержания" и "формы". Мы затронем этот вопрос лишь в той мере, в какой это необходимо, чтобы перейти к понятию функции, родственной, но не тождественной содержанию.

Так, понятие функции приближает нас к пониманию

объективных законов движения, развития, функционирования, без чего невозможно говорить о целостности и гармонии, в то время как понятие содержания более статично и необязательно включает в себя формулировку развития, движения и цели. Функция же подразумевает также и цель — целесообразность действия. Соотношение же ее с формой вскрывает и процесс ее материализации, т.е. фактически технологию создания материальной формы — создания продукта, который, по выражению К.Маркса: "... есть потребительная стоимость, вещество природы, приспособление к человеческим потребностям посредством изменения формы" [1, т. 23].

Исследование взаимосвязи функции и формы — это в итоге рассмотрение деятельности и ее физического результата. Однако в этой связи понятие формы может быть представлено в трех видах: собственно форма, структура и пространство. Такое подразделение понятия формы важно и с точки зрения строительной технологии, поскольку характеризует различные уровни использования ее средств.

Форма, структура, пространство являются однопорядковыми категориями, выражающими (в совокупности со временем) способ существования материи, включающей также зависимость геометрических характеристик материальной формы, структуры и пространства от физических свойств материи. Однако между ними есть и различия. Если понятие пространства как бы поглощает понятие формы и структуры в отношении придания ему смысла — способа существования материи, то форма, индивидуализируя понятие пространства, трактуется как внешний вид содержания, очертание предмета, а структура — как внутренняя форма. В архитектуре (как в живой природе) эти понятия конкретизируются и связываются с материальным воплощением их в жизнь. И здесь разделение понятия формы, структуры, пространства начинает приобретать не только понятийный, но и реальный смысл, который дает возможность применить в определенных пределах различные трактовки формы, структуры, пространства. Вместе с тем в жизни все это сливается в одно нераздельное целое.

Рассматривая материальные выражения функционирования, мы оперируем взаимосвязью функции с формой, которая представляет здесь и структуру, и пространство. Вместе с тем, по мере надобности, осуществляется переход от функции непосредственно к структуре и пространству. Понятие формы в архитектуре остается все же обобщающим символом выражения законности того или иного процесса, или его этапа, средством приведения множества (элементов архитектуры) к целому. В этом контексте структура выступает как процесс на пути становления формы, а пространство — как множество связанных между собой форм. Форма оказывается как бы средним звеном между структурой и пространством. Однако весь процесс синтезирования отдельных элементов архитектуры принято называть в теории архитектуры формообразованием. С целью сокращения мы будем пользоваться для обозначения этих связей обобщенным символом МФСП (материальная форма — структура — пространство).

Чтобы придти к реальному процессу гармонизации, интересно проследить различие в эффекте результативности функции и формы.

Функция изменяется по иерархическому закону, от части к целому, к постепенному формированию присущего им (архитектуре, живой природе и т.д.) основного назначения, поведения и т.д.

Поэтому функция, по словам советского философа и биолога М.И. Сетрова, может быть охарактеризована как "отношение части к целому, при котором само существование или какой-либо вид проявления части обеспечивает существование или какую-либо определен-

ную форму проявления целого" [2], и, добавим, без целого элементарные функции не могут проявляться как функции объема.

Если говорить о функции жилой комнаты, то имеется в виду и функция квартиры. Функция последней понимается лишь в связи с жилым домом, дом — с микрорайоном, последний — с жилым районом, а жилой район — с городом. Без функции жилой ячейки не может иметь место существование никакой другой выше ее стоящей по иерархической лестнице функционирующей системы (так же, как без функции живой клетки теперь уж, на современном уровне эволюции, нельзя говорить о функции организма. Одноклеточные же организмы тоже не существуют самостоятельно, а входят в популяции и т.д.). Функция архитектуры как общественного явления наиболее ярко проявляется на уровне жилого района, города, расселения.

Форма (МФСП) же, наоборот, если ее абстрагировать от функции, в своем развитии подчиняется закону сложения (вычитания), поскольку МФСП может существовать по частям, может делиться, дробиться и каждая часть осуществлять свою функцию независимо от другой: рост здания в процессе строительства, рост организма, образование пород земли.

Закономерности образования МФСП и функции необходимо также рассматривать и в динамике их исторического развития.

Так, для МФСП в этом аспекте, характерно включение в себя предыдущих достижений — здесь происходит сложение и накопление опыта, часто, но не обязательно приводящее к усложнению форм. Это отчетливо проявляется сейчас во все усложняющейся системе градостроительного пространства, хотя отдельные составляющие их элементы — здания, сооружения — могут быть и простыми, несмотря на усложненность их конструктивной структуры.

Развитие функции, наоборот, основывается на принципе исключения: новое (если это действительно новое) не может в итоге сожительствовать со старым, т.е. происходит замена старого новым. Например, полностью отжила функция царских дворцов, старых дворянских усадеб, доходных домов, дворянских и купеческих собраний и т.д. Однако многие функции продолжают развиваться и совершенствоваться: функции старого жилого дома и функция современного многосекционного жилого дома, функция вокзала и др. Появились архитектурные объекты, функция которых порождена прогрессивными социальными процессами в мире и научно-технической революцией: рабочие клубы, Дворцы пионеров, аэровокзалы, метрополитен, спорткомплексы и др.

Рождение новых и отмирание старых функций в архитектуре — сложный многоплановый процесс. Новая функция формируется первоначально в виде свойства, которое может превратиться в новую функцию, а может и не получить дальнейшего развития и остаться на уровне свойства, служащего функции (главного свойства) здания или другого объекта.

Этот момент имеет практическое значение в архитектуре. Часто какое-либо возникшее свойство начинает относиться к глубинным явлениям в архитектуре, и архитекторы стремятся выделить их в своих проектах, придать им в планировке и внешнем облике зданий и комплексов ведущее значение, тем самым замораживая развитие свойств, потенциально готовых превратиться в функцию зданий. Например, первые ростки обобщения быта в 1920-х гг. в советской архитектуре были преждевременно приняты за новую, ведущую функцию жилого дома, а на этом основании проектировались и строились дома-коммуны. Это забегание вперед принесло мало пользы практике архитектуры, хотя и имело значение для развития архитектурной мысли и, навер-

ное, может иметь в усовершенствованном виде значение для разработки проектов домов будущего.

Сейчас трудно говорить о том, что в современной нам архитектуре (какое свойство) ошибочно принимается за главную функцию и преувеличенно акцентируется в композиции здания. Для этого необходимы специальные социологические исследования в архитектуре. Кстати говоря, сейчас не занимаются серьезно проблемой функциональной динамики в развитии архитектуры, ее социологическим программированием. Поэтому трудно ожидать, например, от технологической базы, что она может эту динамику обеспечивать.

В итоге архитекторам, если бы они захотели, пришлось бы создавать социально-функциональную динамику из того, что имеется в их распоряжении (в смысле материала и конструктивных элементов). А в этом случае трудно ожидать благоприятных результатов. В основном сейчас пытаются строить формальную динамику, в результате чего возникает нагромождение форм, среди которых трудно разобраться, где главная функция, где второстепенная, а где лишь зарождающееся новое функциональное свойство. Примеров этому сейчас достаточно: это и многие научно-исследовательские институты в Москве (имеющие, по-видимому, достаточно средств на формальные излишества) и ряд спортивных сооружений (например, легкоатлетический манеж ЦСК) и др. Вход в театр тоже одна из важных, эмоционально насыщенных предчувствием интересного зрелища функций театральных зданий, однако в таком роскошном и презентабельном здании, как новый оперный театр в Вильнюсе, его трудно найти.

Другая крайность — вообще "бессловесность" зданий, когда за их упрощенной геометрической формой нельзя распознать их функциональную структуру. Почему-то это очень характерно для современных административных зданий, к тому же заполняющих центры больших городов и особенно значительно влияющих на силуэт и композицию города.

Близкое по своей инертности к этому положению, прочно зафиксированному технологией индустриального производства, занимают здания массового назначения — школы, детские сады, ясли. Их невыразительность, заложенная в их функциональной структуре, не способствует не только удобству использования и комфорту, но и эстетическому воспитанию детей.

Таким образом, отсутствие теории, направленной на исследование соотношений нового и старого, перспективного и отмирающего в нашей жизни, не могло не оказать отрицательного влияния на такой важный фактор, определяющий реализацию архитектурных решений, как технология индустриального производства, на возможность его целенаправленного развития (в итоге, куда это производство направить, в том направлении оно, если это технически выполнимо, и будет развиваться). Абстрактные претензии к строительному производству — обеспечить возможность разнообразия форм в архитектуре — просто бессмысленны и во многом безрезультатны, свидетелями чего мы и являемся. Напомним, что живая природа дает нам логическую формулу взаимодействия старого и нового, отмирающего и прогрессирующего в развитии видов, динамика которого одновременно запечатлевается в материальных структурах живой природы.

Каждое новое свойство потенциально является функцией. Но актуально свойство приобретает функциональный характер лишь в том случае, если оно начинает служить сохранению данной системы и выполнению ее основной функции, т.е. если оно прогрессивно. Заметим, что эти процессы — возникновение новых свойств и актуализация функций — могут идти одновременно.

Чем больше свойств элементов системы проявляется

как их функция, тем более организована система и тем лучше она функционирует.

В то же время нельзя тормозить и прятать новые свойства, которые могут превратиться в функции объектов архитектуры, в функции новых типов зданий, но для этого необходим постоянный учет социальных тенденций развития общества и одновременное планирование новых материально-технических средств, позволяющих свободно развиваться новым свойствам. Например, в архитектурной науке пока еще не уделяется достаточного внимания созданию трансформируемых систем архитектуры, отвечающих динамике жизненных процессов, что дало бы возможность быстрого приспособления архитектурных форм к появлению новых свойств и ряд экономических преимуществ в градостроительстве (оперативная замена морально изжившего себя старого новым). Но об этом подробнее будет говориться далее.

Однако функциональных условий целостности и организованности архитектурной формы недостаточно (иначе мы приходим к известной концепции в архитектуре — к функционализму). По-видимому, они возможны при наличии единства функции и МФСП.

Понятно, что законы функциональной целостности и организованности не могут действовать вне одновременного образования МФСП. Каждой функции, каждому типу архитектурного объекта на практике соответствует своя структура, своя форма существования. Функции и МФСП должны быть в принципе неразрывны. Каждому новому функциональному свойству, рождающемуся в архитектуре (актуализация функций), должна соответствовать своя МФСП. Однако в архитектурной практике этого чаще всего не бывает, что вполне естественно, так как перед архитектурой возникают не только функционально-утилитарные, но и идейно-художественные задачи.

Материальная форма (структура, пространство), о чем доказательно говорит история, — консервативнее функции. Причина этого заключается не только в меньшей динамике ее развития, сколько в предназначении МФСП — закреплении традиций, сохранении черт, присущих данному виду, типу, образу зданий, служивших определенным классам. Форма раскрывает идеологию классов в архитектуре, их жизнь и обычаи, политическую роль, положение в общественной иерархии и экономической структуре общества. Например, начиная с середины XIX в., в связи с бурным развитием капитализма родились новые социальные процессы и появились новые функции архитектуры (банки, торговые дома, промышленные предприятия, крытые рынки, вокзалы и т.д.), однако эти новые функции продолжали выступать в старом облике различных стилей архитектуры — готики, классики, народного зодчества и т.д. Формы карет, повозок, бричек переносились на форму автомобиля; громкоговорители делались в виде рупоров; паровозы интерпретировали паровой котел, напоминали самовары. Потому так устойчивы и живучи архитектурные стили, что они представляют собой закрепление в МФСП определенной, единой системы композиционных приемов (связанных, естественно, с общественными условиями развития архитектуры).

Свойство функции "жить" в различных материальных формах и структурах (так называемая "мультифункциональность") приводит к тому, что одни и те же МФСП могут быть использованы с различным назначением (например, Дом Союзов в Москве функционирует в здании бывшего Дворянского собрания, Эрмитаж в Ленинграде — в царской резиденции Зимнем дворце и т.д.).

Очень показательно, что в живой природе в период анабиоза растений (зимнего сна) структура последних не меняется, а жизнь растения, его внутренние биохимические

процессы, хотя и в замедленном темпе, продолжают. Эти факты говорят о возможности универсализации в функциональном отношении МФСП. И чем выше организованность МФСП, чем сложнее ее структура, тем она более мультифункциональна.

В связи с этим хотелось бы обратить внимание на тенденцию универсальности в современной архитектуре (отождествляемой с совершенством). Эта тенденция незаконно называется универсальностью, поскольку она осуществляется, с точки зрения дифференциации МФСП (а дифференциация — путь к большей функциональной приспособляемости, о чем говорил Ф. Энгельс и на что указывал Ч. Дарвин), в достаточно упрощенных формах.

Этот так называемый принцип универсальности дает возможность использовать здания для разных функций, их набор невелик, но требует особых приспособлений для преобразования внутреннего пространства. Кроме того, возникает сложность в отношении поиска художественного образа таких зданий в связи с многозначностью их функций. Подобная универсальность снижает уровень обеспечения отдельных функций. Интересно, что в живой природе сходной универсальностью обладают низшие организмы (например, микроорганизмы), "универсализм" которых не выходит за пределы примитивных, хотя часто и активных возможностей. По-видимому, правильнее было бы подобное явление называть в архитектуре не универсальностью, а как в биологии — лабильностью (функциональная подвижность, приспособляемость) и отличать ее от приспособляемости МФСП к обеспечению актуализирующих функций, обусловленных социальным и научно-техническим прогрессом. В архитектуре простая обитаемая ячейка в виде кубика может быть лабильна в смысле ее перестановки и получения различных конфигураций зданий. Однако такая лабильность не ведет к совершенствованию функционального качества архитектуры.

Поэтому так называемой универсальности противостоит тенденция специализации — наиболее устойчивой формы выражения образа зданий, закрепления и совершенствования их типов, что, однако, требует больших усилий, экономических затрат и времени на их формирование.

С точки зрения единства функции и МФСП, их проработанности, специализированные здания более целостны и организованы, а следовательно, и более совершенны. Вместе с тем они обладают меньшей гибкостью в своей исторической изменчивости, или, точнее, они более живучи, устойчивы — резистентны во времени, так как им свойственна высокая степень сосредоточения функций на сохранение свойств системы как целого и высокий уровень организованности системы. Именно в специализированных системах максимально проявляется статичность во времени МФСП и закрепление стилей. Поэтому высокоразвитые специализированные формы (структуры), отличаясь большой согласованностью с функцией, и, как правило, будучи представлены лучшими произведениями архитектуры, одновременно являются и тормозом для развития новых композиционных систем и приемов планировки. Здесь в архитектуре находит свое отражение общий закон живой природы, закон функционирования сложных информационных систем — прогресс оборачивается регрессом. Об этом писал Ф. Энгельс: "... каждый прогресс в органическом развитии является вместе с тем и регрессом, ибо он закрепляет одностороннее развитие и исключает возможность развития во многих других направлениях" [1].

В то же время именно специализированные МФСП (как это ни кажется противоречивым) благодаря дифференцированности — сложности своей структуры — могут достаточно гибко исторически приспособляться (но лишь приспособляться) к изменяющимся функциям.

Говоря о специализации, необходимо сделать один важный практический вывод для развития нашей архитектуры и строительной технологии — целесообразно всегда иметь запасные выходы из возможного тупика чрезмерного совершенствования специализированных типов зданий. Наряду со специализированными типами зданий нужно создавать и "универсальные" (лабильные), более приспособленные к текущей жизни здания.

Устойчивость МФСП и подвижность функций — это, в принципе, взаимодополняющая диалектическая пара, противоречивость которых превращается в генератор энергии их развития. Одновременно это единство выражает организованность системы в качественном и количественном отношениях.

Подводя итоги сказанному о функциях и МФСП, необходимо учитывать:

возможность включения новых функций в существующую структуру зданий и их закрепление в последующих объектах этого типа или вида зданий, т.е. процесс функционального совершенствования одного типа зданий;

рождение новых функций, а с ними и новых типов зданий (следует иметь их запасные варианты с одновременным обеспечением технологии их производства);

совершенствование МФСП, способных обеспечить сложные функциональные процессы, и создание условий для формирования их гибкости и быстрой приспособляемости в функциональном отношении;

формирование большепролетных пространственных МФСП, обеспечивающих ряд родственных функций — лабильность зданий.

Необходимо прогнозировать степень усовершенствования МФСП зданий (иначе можно придти к тупиковым состояниям). Исторически может сложиться дело так, что отпадет необходимость в тех типах зданий, структура которых постоянно совершенствуется, но возникнет потребность в строительстве новых видов зданий. Перестраивать же в условиях индустриальной технологии хорошо технически проработанные формы зданий сложно, а часто невозможно.

Учитывая динамичность жизненных процессов в наше время, важно дифференцированно подходить к созданию технических средств, обеспечивающих получение устойчивых во времени МФСП, передающих потомству представления о жизни и культуре наших дней. Одновременно желательно научиться оперировать мобильными средствами, позволяющими относительно быстро приспособляться к жизни и создавать почву для замены морально устаревающих зданий.

Насмотря на попытки найти пути единства функции и МФСП, мы их уже таким соединением через "и" разделяем. По-видимому, если мы хотим говорить о системности и организованности, необходимо рассматривать МФСП в целом с точки зрения оптимальности удовлетворения ею своего назначения на каждом историческом этапе развития архитектуры.

ФОРМА И ПРОСТРАНСТВО В АРХИТЕКТУРЕ

Критериями формы служат: величина (размерность), фигура (очертание) и положение в пространстве, что в свое время было четко сформулировано известным немецким физиком Г.Лейбницем, который продолжил и конкретизировал в физическом аспекте формообразования философию Аристотеля [3].

Форма в первую очередь — результат движения. В архитектуре — развитие жизни общества, движение творческой мысли, физическое движение (например, трансформируемые конструкции), движения руки архитектора, рисующего проект, а также восприятия форм в процессе движения. Очень образно о последнем писал Г.Лейбниц: ... вообще сущность различается от своих

качеств только отношением к чувствам. В самом деле, один и тот же город представляет иное зрелище, если смотреть на него с бешны, стоящей в его середине, — что совершенно подобно тому, как если бы мы стели рассматривать самую сущность; и иное — если подойти к нему извне, что совершенно соответствует восприятию качества тела; и как меняется самый внешний вид города, смотря по тому, подходит ли к нему с восточной или западной стороны, точно так же меняются и качества соответственно с различием органов. Из всего этого вполне ясно, что все изменения можно объяснить движением" [3].

Остановимся лишь на некоторых интересующих нас аспектах изменения формы (фигуры) и ее величины в процессе движения — развития, формирования.

В силу естественного явления компенсации увеличения одного элемента формы (или формы среди форм) влечет за собой уменьшение другого, поскольку увеличение размеров не безгранично. И в соответствии с последним фактом, в процессе увеличения начинается деление, дифференциация формы на элементы (в архитектуре обусловленное и функциональными и конструктивными соображениями, переходящими в эстетическое освоение дифференциации).

В условиях стандартизации и индустриализации строительства практически важен так называемый принцип малых изменений формы.

В современной физико-математической науке известно такое явление как "слабые эффекты" или "малые усложнения". Они представляются как причина нарушения симметрии. В слабых эффектах или малых усложнениях, однако, таится большая сила.

Например, планеты движутся не по окружности, а по эллипсам, мало чем отличающимся от окружностей. В этой же планетной системе орбиты, по которым движутся планеты, лежат чуть-чуть не в одной плоскости.

Известно явление малых краевых смещений атомных слоев в молекулярной структуре, которые, например, оказывают огромное влияние на прочностные свойства строительного материала, — если бы не они, то модуль Юнга приближался бы к теоретическому.

Физики в свое время считали, что процессы, происходящие в мире неживой природы, симметричны, но открытие малых отклонений в физических явлениях заставило их не только изменить свое мнение, но и пересмотреть многие законы физики и, в частности, понимание явлений движения.

В живой природе мы постоянно сталкиваемся с нарушением симметрии. Лист березы, фигура человека, стебель растения — и симметричны, и несимметричны. Не случайно К.А.Тимирязев называл такие формы "чуть симметричными", т.е. с отклонениями от симметрии.

Малые изменения в архитектуре могут позволить: приспособляться к среде и вместе с тем сохранять типовые признаки архитектурной формы;

экономить энергию (регуляция тепла, инсоляции, влажности и т.д.) за счет конфигурации формы и ее размеров;

приспособляться к оптимальному восприятию механических нагрузок;

способствовать вариантности сочетаний и комбинаций в плотных упаковках;

обеспечивать гармоничное развитие всех элементов форм.

Известно, что мастерство художника, архитектора заключается в умении доводки формы за счет "чуть-чуть" — небольших, неувидимых изменений. Однако эта важная сторона мастерства архитектора не находит своей поддержки, например, в индустриальной технологии, хотя небольшие изменения формы стандартных элементов зданий могли бы значительно повысить их комбинаторность и облегчить поиски новых форм архитектуры. Прямоугольный же элемент может лишь породить прямоугольную форму. В преодолении бесконечного повторения прямоугольных форм (что

не исключает возможности создания отдельных красивых прямоугольных форм при их меньшей типовой повторяемости) может помочь изучение объектов живой природы, представляющих собой образец такого типа "индустриальности", в которой в единстве выступают функция, технология и форма.

Необходимо сказать несколько слов об интегральности пространства.

Ф.Л. Райт проводил идею интегральности внутреннего и внешнего пространства архитектуры. Пространство у Ф.Л. Райта не пустое место, а насыщенное: архитектура, флора, климат, почва и т.д. Конкретность архитектуры он переносит на конкретность пространства, первоисточником которого является ландшафт. Неповторимость природного окружения включает неповторимость архитектурных образов. В итоге пространство, по Ф.Л. Райту, — производное масс архитектуры и природы, что он на практике пытался доказать домами, построенными в прериях. Он заявлял о существовании архитектуры Земли, Марса, Венеры. Архитектуру пудей Ф.Л. Райт считал продолжением архитектуры Земли.

В XX в. теория относительности установила, что геометрические свойства также являются самостоятельными, но определяются расположением масс (а еще ранее в науке был поставлен под сомнение вопрос о возможности существования мира по законам евклидовой геометрии) [4].

Из заключений А.Эйнштейна можно сделать вывод, что пространство состоит не только из взаимосвязанных между собой тел, но и зон их влияния, т.е. воображаемых продолжений тел и их пересечений [4]. Иначе говоря, любое пространство есть продолжение твердого тела, и невозможно представить пространство, четко разделенное на поле и вещество.

Касаясь вопроса геометрии городской планировки, А.Эйнштейн высказывает мнение, что прямоугольная планировка городов не соответствует геометрическим свойствам поверхности Земли, т.е. природе [5]. По-видимому, А.Эйнштейн воспринимал "прямоугольную" (Евклидову) архитектуру как чужеродное тело в пространстве биосферы.

С нашей точки зрения, зоны влияния архитектурных масс зависят не только от размеров последних, но и от характера формы. Эти зоны в зависимости от силы действия объекта то удаляются, то приближаются к нему. В результате возникает силовое поле влияния архитектурных масс, в котором существуют сгустки и разрядки. Включая в существующую застройку новый архитектурный объект, необходимо учитывать состояние поля. Будучи размещенным в сгустках поля, он может усилить действие того или иного ансамбля.

Чтобы это установить, необходим серьезный анализ сложившихся архитектурных ситуаций.

Вероятно, существует несколько видов пространств, их иерархическая последовательность. Современная физика утверждает это положение и проводит идею прерывности пространства и времени. Так, гравитационные взаимодействия определяют геометрические свойства только макрокосмоса. В микромире, где определяющими являются ядерные силы, они играют ничтожную роль. В микромире имеются также области, в которых пространства как такового нет, т.е. свойства этих областей определяются такими силами и взаимодействиями сил, которые не создают протяженности. Здесь на первый план выступают структурный уровень материи как более общая и простая, чем пространственно-временной континуум, форма бытия. Таким образом, есть основание предположить, что лишь на какой-то ступени этой иерархической лестницы зарождается пространство как таковое, иначе говоря, пространство является формой бытия более сложной структуры материи, поддающейся индивидуализации [6, 7]. К такой

иерархической ступени пространства относится и архитектура (архитектурное пространство). Одним из видов пространств может быть психологическое пространство, пересекающееся с архитектурным.

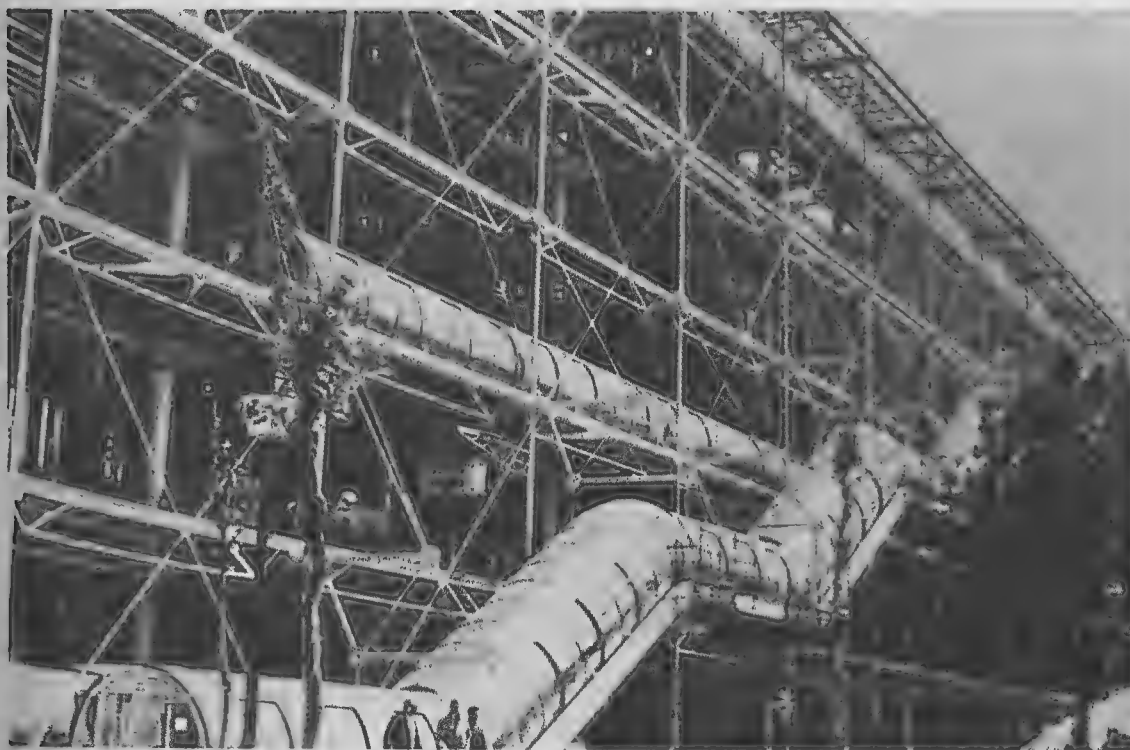
Интересно, что твердые тела имеют внутреннее пространство, которое можно считать определенным качеством в цепи названной прерывности пространства. Поверхность земли представляет собой границу, отражающую геометрические законы и свойства внутреннего пространства нашей планеты, трансформирующие их в свойства внешнего пространства. Каждый ландшафтный элемент земли конкретен и неповторим. Чем выше от поверхности земли, тем абстрагированнее пространство. В соответствии с этим архитектура, расположенная ближе к земле, должна приобретать близкие человеку конкретные формы в смысле проработанности их пластики, выражения функции среды и общественного отношения к ним человека в эстетическом и идеологическом планах.

МЕЗОФОРМЫ — МЕЗОСТРУКТУРЫ — МЕЗОПРОСТРАНСТВО

Удвоение формы (внешняя визуальная и внутренняя структуры) выступает в противоположности не только частей и целого, но и внешнего и внутреннего аспектов ее содержания.

Гегель в свое время отмечал, что, во-первых, форма противостоит своему содержанию как нечто внешнее и несущественное, "безразличное для содержания существования"; во-вторых, форма выступает как нечто пронизывающее само содержание связи, вырастающее из содержания и активно воздействующее на него, оформляющее его, переходящее в него. Эти два аспекта едины, и когда вопрос касается целостности и гармонии формы (это относится и к архитектурной форме), то их нужно рассматривать вместе (в создании стандартных элементов этот момент архитектуры учитывается, по-видимому, в очень малой степени). Однако есть смысл выделить первый аспект, несколько расширить его понимание в приложении к архитектуре.

Архитектурная форма, как говорили представители органической архитектуры, развивается "изнутри наружу". Функциональная специфика формообразования, несомненно, является объективно ведущей. Но, развиваясь изнутри, содержание через структурно-элементарные преобразования выходит наружу, к внешней форме и здесь сталкивается (естественно через архитектора) с окружающей средой — с влиянием сложившихся архитектурных ансамблей, природой, природно-климатическими факторами, а в городе — с технизированной средой. Внешняя форма должна сочетаться также с психологией зрительного восприятия человека, сопереживающего архитектуру. Психология же человека, современника архитектуры, обуславливается не только требованиями, предъявляемыми к объемно-планировочному, функциональному содержанию архитектуры, но корректируется идеологическими факторами времени, художественными вкусами, ощущает на себе влияние других, изобразительных видов искусства. Все указанные причины дают основание утверждать, что форма архитектуры снаружи не обязана этому сквона внутренней объемно-планировочной структурой и то, что есть внутри, не должно целиком и полностью повторяться снаружи, хотя не может не быть с ним органически связано. Прекрасным примером этому служит любой живой организм, в частности, человек: с одной стороны, во внешности человека мы ощущаем строение его скелета, расположение отдельных органов, с другой стороны, внешность не повторяет целиком и полностью внутренней структуры человека, поскольку внешняя форма должна также реагировать на окружающую среду, включая и отношение человека к человеку,



условия существования в обществе и т.д. Так и наружная сфера — оболочка здания принадлежит не только зданию, но и окружающей среде, она представляет собой мезоструктуру — структуру, среднюю между зданием и средой. В природе — скорлупа, кожа, кора и др.

В традиционной архитектуре это требование учитывалось. Между внешней и внутренней средой архитектуры стоял "слой" сложных преобразований формы (структуры), несущей не только художественно-композиционную нагрузку, но и важные утилитарные функции — регуляцию микроклимата, защиту от снега, дождя, от быстрого перегрева или, наоборот, охлаждения зданий (террасы, крыльца, эркеры, обналичка окон, крупная фактура стен и т.д.).

Современная архитектура попыталась сбросить с себя "роскошные одежды", выставляя часто напоказ лишь свою структуру — скелет, конструкцию (рис. 1). Это обеднило архитектуру, исключив богатейшую возможность преобразований формы на ее границе с окружающей средой (хотя нельзя отрицать, что имеют место случаи, когда конструкция стала сильным средством художественной выразительности). В современных зданиях человека отделяет от внешней среды панель толщиной 30–40 см, и изменения среды — солнечные, температурные, влажностные и пр. — тут же передаются человеку, что приводит к перманентному дискомфортному состоянию внутренней среды архитектуры. И здесь дело не только в физических качествах ограждающих зданий панелей, но и в отсутствии экстраполяции их структуры во внешнее пространство. Не случайно сейчас существует тенденция возвращения в архитектуре к такому конструктивному материалу, как кирпич, — более эффективному в отношении как регуляции микроклимата помещений, так и придания крупной фактуры наружным стеновым поверхностям.

Думается, что есть основание расширить понятие мезоструктуры и вынести его за пределы материальной

Рис. 1. Обнаженная конструктивно-технологическая форма (общий вид). Центр искусства и культуры имени Ж. Помпиду в Париже, 1977 г.

оболочки здания в "межархитектурное пространство" — мезопространство.

Те дополнительные элементы, которые сопровождали старую архитектуру (галереи, террасы, крыльца, вплоть до создания среды малых архитектурных форм, окружающих здания), можно назвать своеобразными функциональными и психологическими "демпферами", позволяющими человеку постепенно адаптироваться в архитектуре, переходя из сферы влияния одних архитектурных форм в другие. Они превращают архитектурную среду в живое пространство, максимально приближающееся к психофизиологическим потребностям человека.

Однообразие современной массовой застройки во многом связано с отсутствием такой мезосреды или мезопространства.

СТРУКТУРНЫЙ ЭЛЕМЕНТ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ

С точки зрения формообразования для архитектуры очень важно выявление композиционного, формообразующего "элемента" (который при определенных условиях может стать объектом типизации или стандартизации). Им может быть блок-комната, блок-квартира, дом или еще что-либо другое. Попытаемся выяснить возможность выявления такого элемента (или элементов) в архитектуре.

Известно, что исследователи в любой области научной деятельности сталкиваются с трудностями при определении структуры явления. Для облегчения этого процесса, особенно когда это касается конкретных явлений,

а не общих философских рассуждений, полезно обратиться к понятию "элемента" (являющегося сейчас предметом особого внимания советских и зарубежных философов). Действительно, для того чтобы говорить о содержании какого-либо конкретного явления (в нашем случае архитектуры), необходимо вначале определить, какие элементы его формируют, поскольку любое явление, любая форма дискретны. Следовательно, и при обсуждении вопроса о форме (или о материальных структурах) также необходимо знать элементы, их составляющие, ибо и форма, и структура есть способы связи, организации содержания. В то же время понятие элемента имеет и всеобщее значение. С ним мы сталкиваемся при попытке расчленить явление, понять не только его структуру, но и генезис. Исходя из наших позиций, элементы должны представлять собой части предмета или процесса, не просто полученные путем произвольного деления их, а составляющие целое, осуществляющие задачу гармоничного функционирования объекта.

Как нужно отнестись к вопросу "структурного элемента" в архитектуре?

В химии элементарной частицей считается атом (основные свойства атомов обычно и рассматриваются как свойства того или иного химического элемента); в квантовой физике — элементарная физическая частица; в живом организме — клетка. Однако эти понятия элементов находятся в сфере теории относительности, поскольку в мире нет никаких "конечных" элементов, и любой элемент выступает как органическое единство определенных свойств, признаков, связей. В различных ситуациях возможен любой выбор элемента, лишь бы он позволил полнее раскрыть структуру содержания явления. В элементе, как в капле воды, отражается окружающий мир.

Ле Корбюзье в качестве социального элемента архитектуры брал жилую ячейку. Он писал: "Если клетка есть первоначальный биологический элемент, то домашний очаг, иными словами, — приют для семьи, представляет собой социальную клетку" [8].

Элементарной структурной единицей города в современной ситуации, наверное, мог бы служить микрорайон, а не отдельный дом, так как он точнее и полнее раскрывает социальную градостроительную специфику, чем многосекционный дом, функционирующий в тождественных видах в странах с самыми различными социальными устройствами. Микрорайон в социалистическом городе стал его устойчивым, хотя далеко еще социально не оформившимся, структурным элементом.

Однако понятие элемента относительно, и сам элемент нельзя рассматривать вне пространства и времени (что значительно усложняет картину), поэтому мы и не можем остановиться на одном элементе, из которого образовывались бы все архитектурные формы (а именно к этому ведет разговор об элементе). Подобный "праэлемент" ("праформу") в течение многих лет своей жизни искал великий немецкий поэт и естествоиспытатель И.В.Гёте. И не нашел, поскольку это так же противоестественно, как искать одного единственного предка человека. Исключение наличия "праэлемента" вытекает из приведенных выше постулатов — способности структур к многофункциональности, а функции к многоструктурности. Свидетельство этому также двойственность формы вообще, в нашем аспекте — двуликость архитектуры (функциональная и технико-экономическая целесообразность, синтезируемая с духовностью искусства). Поэтому, как в других явлениях, так и в архитектуре, можно предположить наличие многоступенчатости формирования элементов, т.е. отсутствие его конечности. Такой подход выражает иерархическую систему. Мало того, кроме многоступенчатости, предполагаемой как восхождение (или нисхождение) в иерархии

систем, имеют место качественно разные уровни элементов одной системы. В архитектуре — конструктивный элемент, функциональный элемент, композиционный элемент и т.д. Стандартный модуль можно также рассматривать как пространственно-метрический элемент архитектуры. Элементы, взаимодействуя между собой, образуют структуру более высокого порядка. Так, на основе простых конструктивных элементов типа стоек и балок рождаются пространственно-развитые архитектурные формы, обеспечивающие сложные функции.

Каждый элемент обладает структурой и может быть рассмотрен в качестве отдельной относительно самостоятельной системы, т.е. их бесконечность развивается не только в определенном иерархическом продольном ряду, но и в поперечных направлениях. В этом случае элемент выступает как органическое единство определенных свойств, признаков, связей и характеризует не только форму, но и содержание.

Элементарная структура, в свою очередь, представляет собой какое-то явление. Например, квартиру можно рассматривать как структурный элемент многосекционного жилого дома. В другом же аспекте квартира превращается в самостоятельное явление, а ее элементарной структурной единицей становится комната.

В практической деятельности архитектор исходя из того, что каждый элемент обладает структурой и всегда представляет собой "структурный элемент", должен не строить архитектуру из упрощенных однотипных пространственных элементов, выполняющих различные функции, а стремиться проникнуться содержательным смыслом каждого элемента, дифференцируя и совершенствуя его структуру и форму. Отсюда и работа над вопросами индустриализации¹ изготовления пространственных элементов зданий должна следовать идее непрерывной структуризации пространства и дифференциации его функций, ибо этот процесс беспредельно, как и беспредельно развитие элементов социального (так же, как и живого, в том числе человека и его потребностей). Кроме того, необходимо совершенствовать иерархические связи, т.е. определить каждому элементу его место в функциональной и пространственной структуре архитектуры, что должно также отражаться в индустриальных методах строительства. Сочетание соподчиненности элементов в структуре архитектурной формы с выявлением специфических свойств элементов обогащать и художественное содержание архитектуры.

ПРОБЛЕМА ЕДИНСТВА СРЕДСТВ ГАРМОНИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ

В понимании целостности архитектурной формы важно установление связей между отдельными свойствами художественно-осмысленной формы, используемыми как средства гармонизации. Это ведет к необходимости исследования, во-первых, генезиса средств гармонизации и их родственных, гомологичных отношений, а во-вторых, иерархии их по отношению друг к другу.

Важнейшим источником раскрытия единства средств гармонизации служит современная и историческая архитектурная практика. Понятно, что в средствах гармонизации не может не быть родственного формообразующего начала, хотя степень их единства зависит от художественного уровня произведения архитектуры. Поэтому изучение этого единства может быть наиболее эффективно проведено на лучших произведениях мировой

¹Мы используем при этом термин не "стандартизация", а "индустриализация", так как стандартизация — лишь часть случая индустриализации и будущее архитектуры может быть связано и с индустриализацией без стандартов (но не без типизации).

архитектуры, что не исключает возможности обращения и к другим архитектурным объектам и особенно к тем, в которых обнаруживаются противоречия формы и характерные черты того или иного механизма (средства) гармонизации. И, конечно, как мы говорили, на объективных законах формообразования живой природы.

По нашей методике, чтобы найти связь между средствами гармонизации, определить место каждого в композиционной иерархии, необходимо прежде всего выяснить причину происхождения гармонии и средств гармонизации, подразумевая под гармонией определенную организацию формы.

Как утверждает современная наука, объективная сущность любой организации может быть раскрыта через три основные закономерности функционирования: совместимость функций, принцип их актуализации и сосредоточение, которые соответственно совмещаются по своей иерархии с определенными степенями формообразования и свойствами формы (структуры) — полимеризацией, дифференциацией и интеграцией. Этим степеням соответствует также иерархия средств гармонизации, хотя нельзя говорить об автоматической, жесткой связи их со степенями формообразования.

Рассмотрим соотношение основополагающих принципов функционирования и формообразования в архитектуре, выявляя одновременно объективные условия проявления законов и средств гармонизации.

Принцип совместимости функций (1 уровень) — основа взаимодействия элементов любой сложной динамической равновесной системы — отражает необходимость возникновения самой простейшей организации — полимеризации, на уровне которой действует механизм сложения отдельных одинаковых по функции и форме элементов. Такое сложение приводит к снижению функциональной активности системы. Поэтому в процессе полимеризации преобладает структурный, статический аспект организации как процесс количественного роста этих элементов. На примере подобной простейшей организации отчетливо проявляется совпадение однообразных ритмов с изоморфной повторяемостью структурных элементов.

В качестве архитектурного примера полимеризационной системы можно привести планировку квартала для строительных рабочих (рабов) поселения Кахун в Древнем Египте (III тысячелетие до н.э.) и застроенный хижинами рабов восточный квартал Ахетатона (Тель-Эль-Амарна), одной из древних столиц Египта (рис. 2). В обоих случаях планировка организована по принципу заполнения пространства однотипными по форме примитивными жилыми ячейками, расположенными в клетках прямоугольной решетчатой планировочной системы. В последней абсолютно отсутствуют элементы иных, например общественных функций. Однако в этих же поселениях по-другому строятся кварталы для высокой администрации и вельмож, где возможность расширения потребностей приводит к функциональной дифференциации поселения. Как справедливо отмечает А.В.Бунин: "Планы Кахуна и кварталов рабов в Ахетатоне не поднимаются выше уровня элементарных геометрических схем и механического суммирования стандартных ячеек" [9].

С подобной регулярной, весьма упрощенной "полимеризационной" застройкой мы сталкивались в рабочих поселках, построенных при военных заводах в начале XX в. в капиталистических странах Западной Европы, царской России, а также в США во время второй мировой войны.

В живой природе такая система ярко выражена в однотипной структуре пчелиных сот. Она свойственна также строению мертвого физического вещества (рис. 3, 4).

На уровне полимеризации нарушений симметрии не возникает.

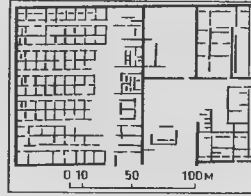


Рис. 2. План поселения Кахун (Древний Египет), III тысячелетие (уровень полимеризации)

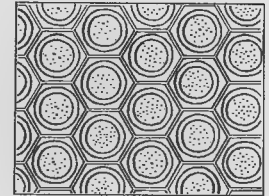


Рис. 3. Идеальный план города, состоящего из клеток (Ренессанс)

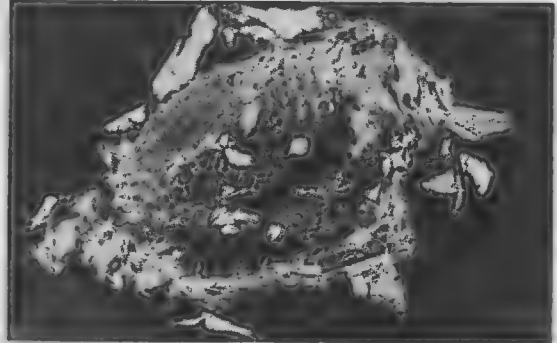


Рис. 4. Пчелиные соты и кораллы

Обратим внимание на такой опыт. В пчелиных сотах, например, повторяемая геометрически однотипная форма ячейки (шестигранника) выполняет относительно сложную биологическую функцию. Имеются и некоторые различия в назначении и размерах ячеек (ячейки

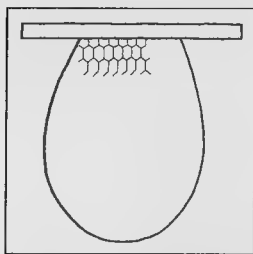


Рис. 5. Каплеобразная форма подвешенных к потолку пчелиных сот

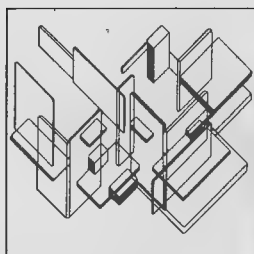


Рис. 6. Эскиз жилого дома (Т. Дусбург и К. Ван Эстерен, 1920-е гг.)

для рабочих пчел и для трутней). То же самое наблюдается и в орнаментах, где каждая "клетка" ленточного построения или мозаики может быть заполнена неодинаковыми, хотя и близкими по содержанию и по сложности, рисунками.

Такая форма полимеризации отчетливо проявляется в современной массовой жилой архитектуре, что говорит о существующих здесь потенциальных возможностях самопреобразования полимеризационной, монофункциональной системы в дифференцированную, полифункциональную. В мертвой природе возможны случаи, когда полимеризационная система становится лишь геометрическим разграничителем пространства, например плотная укладка, состоящая из плотно сомкнутых мыльных пузырей, превращенных в полуправильные многогранники Кельвина.

В итоге полимеризационное состояние делает бессмысленным соизмерение частей или дает из-за незначительных различий размерностей элементов системы слабую возможность определения пропорций.

На этом этапе формообразования возникает изоморфная, так называемая мозаичная симметрия (которую можно отнести к самому первому уровню образования равновесных систем). Начинают проявляться первичные объемно-плоскостные (кубические, сферические и др.) пластические преобразования.

Пластика даже на этом уровне, как это и показал опыт современной архитектуры, может дать интересные результаты.

Законы тектоники, поскольку они связаны с гравитацией, действуют на всех уровнях формообразования в живой природе, за исключением микрокосмоса, где действие гравитации значительно ослаблено. На уровне полимеризации силы притяжения также оказывают влияние на природные формы. Но поскольку эти формы несколько упрощены, то и изменения в характере форм выглядят весьма обобщенно и приближаются к изменениям, связанным с действием гравитации в физическом мире. Например, соты, построенные дикими пчелами, или осами, в подвешенном виде приобретают каплеобразную форму; муравейники, термитники — конусообразную (лишь конус устойчивости) и т.д. (рис. 5).

Тектонику плоских срезов и сдвигов мы наблюдаем в мертвой природе. Примерами служат геологические срезы пластов земли; существуют также аналогичные мотивы в архитектуре (рис. 6), в изобразительном искусстве — графические построения живописи Мондриана, скульптура Малевича и др.

Сочетание кубических форм в архитектуре, отражающих эту тенденцию, слабо выражает тектонику. Кубические формы "взвешены" в пространстве, дезориентированы по отношению к нему. В связи с одинаковостью их структуры создается впечатление, что они могут существовать и вне гравитационного пространства. Не

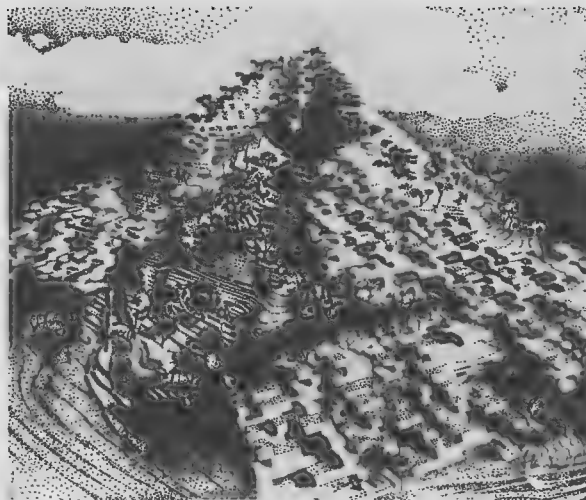


Рис. 7. Город в Италии ("муравьиная куча")

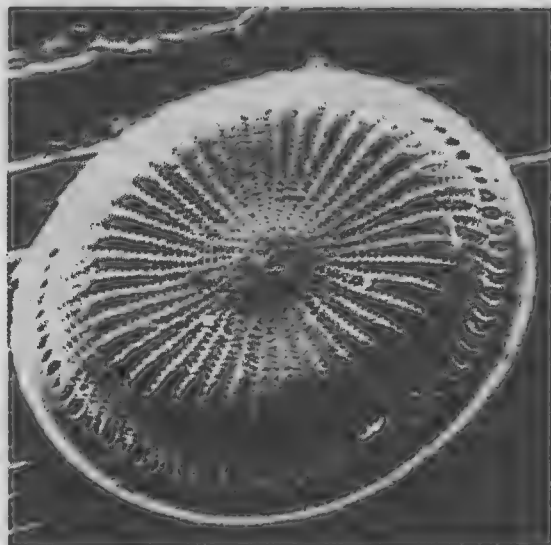


Рис. 8. Дифференцированная структура живой природы

случайно именно эти формы позволили утверждать, что тектоника в современной архитектуре исчезает. Однако комбинации кубических форм в постройке городов (Италия), напоминающих по своим очертаниям горные массивы или кораллы, приводят опять-таки к композиции известного нам конуса устойчивости или пирамиды, т.е. к элементарным, простейшим видам тектоники (рис. 7).

Принцип актуализации функций (II уровень) — рождение новых функций системы, сосредоточенных на выполнении общей цели; он отражает разнообразие свойств, обеспечивающих определенную гибкость в приспособлении к различным условиям жизни. Этот принцип осуществляется через дифференциацию ранее однородных элементов, благодаря чему и достигается разнообразие их свойств (рис. 8). Он отражает динамическую сторону организации, необходимость ее изменения в интересах сохранения целостности системы и ее "выживания" в условиях изменяющейся среды. Динамизм развития рождает неоднородность системы, механизм же сохранения видовых признаков восстанавливает

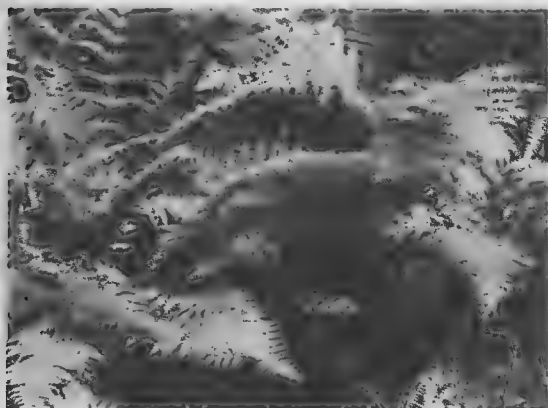
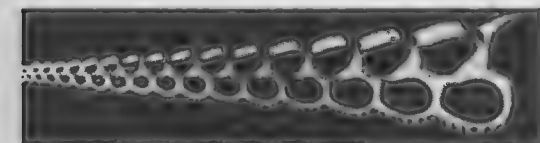


Рис. 9. Динамические ритмы дифференцированной системы

Рис. 10. Сложная интегрированная структура живой природы

Рис. 11. Излишне усложненная форма архитектуры. Особняк в Киеве, нач. XX в. Архит. В.В. Городецкий



Рис. 12. Стихийно сложившийся архитектурный ансамбль. Гданьск

В классической архитектуре динамичность ритмов, как правило, носит изобразительный характер, в современной же архитектуре появляются и реально динамичные ритмы, связанные, например, с использованием трансформируемых конструкций.

На уровне дифференциации в связи с различием элементов значительно повышается информационность системы, появляется возможность соразмерять явления в их качественном значении, составлять мнение об их пропорциях и масштабности.

Обогащается и пластика благодаря комбинациям различных по форме и функции элементов.

Принцип сосредоточения функций (III уровень) — интеграция всех функций системы, направленная на поддержание основной функции (рис. 10). На этом уровне действует регуляционная сторона организации. Однако интеграцию нельзя понимать лишь в физическом смысле, иначе можно прийти к неправильному заключению о том, что чем больше интегрировано элементов, тем более организована система. Наоборот, чрезмерная физическая интеграция отдельных элементов может привести к вредным последствиям в живой природе, а в архитектуре — к нежелательному усложнению ее форм, переходящему в стадию нецелесообразности, неэкономичности (рис. 11). Сосредоточение функций может обеспечиваться и физически — пространственным рассредоточением функционирующих элементов, например в живой природе — популяции, в архитектуре — ансамбль (рис. 12).

Однако полимеризация, дифференциация и интеграция — это не только исторические уровни, но и представление о единстве, целостности живого организма и "организма" архитектуры на самом их высоком уровне, так как интеграция не может существовать без дифференциации и полимеризации, тогда как дифференциация и полимеризация — возможные формы единичного существования объектов. Высокоорганизованное существо в своих различных частях состоит в итоге из однотипных клеток, архитектура — из первичных ячеек.

Таким образом, все сказанное дает основание утверждать, что, во-первых, гармония и средства гармонизации обусловлены объективными законами функционирования организаций и связаны с развитием функциональных систем, во-вторых, они имеют общую основу формирования, что приводит к взаимопрониканию средств гармонизации. Например, соразмерности, осваиваемые нами как пропорции, порождают ритмы, ритмы являются причиной суждения о пропорциях, тектонике. В случае тектоники, как пишет Л.И.Новикова, "целостность формы обеспечивается путем пропорционального соотношения основных объемов, ритмического построения необхо-

равновесность — возникает чередование симметричных и асимметричных состояний, которые в своем единстве, в "спрессованном" временном состоянии формируют динамичную асимметричную равновесную систему. В отличие от полимеризационной системы в процессе дифференциации возникает динамичность ритмов как выражения и отражения динамики взаимодействия разнородных функциональных элементов (рис. 9).

димых деталей, выделения основной . . . детали, которая тем самым превращается в знак, символ, дающий ключ к восприятию самой конструкции"[10].

Благодаря какому же механизму возможно осуществление взаимопроникновения средств гармонизации?

Все сводится в итоге к операциям геометрическими законами формы — положением элементов формы в пространстве, соотношением размеров частей (масс), конфигурацией формы, — которые можно выразить в принципе посредством чисел. Специфику же средств гармонизации определяет различный характер взаимодействия чисел.

Отсюда вывод о необходимости применения и совершенствования математических методов в архитектурной композиции (именно они как абстракция позволяют объединить средства гармонизации). Переход же от объективных законов гармонии к эстетическим связан с мерой тех или иных геометрических отношений, которая приобретает в итоге историческую окраску (покой форм в классической архитектуре и динамика форм в архитектуре барокко).

Большое значение геометрии в архитектуре как основополагающему средству организации и восприятия архитектурной формы придавал Ле Корбюзье. Он писал: "Нужно найти тот геометрический закон, который имеет особое значение для данного произведения, который внесет в него стройность и определенность" [11]. "Геометрия есть средство, с помощью которого мы воспринимаем среду и выражаем себя" [8].

Ле Корбюзье был уверен, что "... природа — это действительно математика. Шедевры искусства созвучны природе, выражают ее законы, питаются ею. А отсюда — произведение искусства есть тоже математика, и ученый вполне может применить к произведению искусства ее беспощадные умозаключения и неумолимые формулы" [8].

Однако вся трудность этого вопроса заключается в том, что мы не научились владеть математикой настолько, чтобы создавать при ее помощи в архитектуре и искусстве то, что мы себе намечаем (учитывая реальные возможности). Геометрию, математику в связи с их определенным историческим уровнем развития, не соответствующим желаемым поискам форм в искусстве, мы воспринимаем как ограничитель творчества.

И действительно, возможности художественной интуиции значительно шире и богаче. Когда говорят об использовании геометрии в поисках форм, то в нашем сознании возникает представление об ограниченном наборе геометрических законов, и поэтому применение их в искусстве ассоциируется с сухостью, "геометричностью форм". Психологический аспект проблемы усугубляется тем, что в современной архитектуре чаще всего употребляются упрощенные прямолинейные формы, а отсюда и все понятие геометрии фиксируется на ее способности создавать лишь прямые углы: понятие "геометрия" становится тождественным прямому углу.

Вывод о том, что механизмом, объединяющим средства гармонизации архитектурной формы, должны быть математика, необходимо воспринимать пока в основном теоретически. Однако его практический смысл заключается в том, чтобы, создавая архитектурные формы, ясно себе представлять механизмы гармонизации, преодолевать стихийность и часто бытующее мнение, что все создаваемое художником-архитектором не подчиняется (а еще хуже того — не должно подчиняться) внешним, объективным законам природы, а лишь связано с внутренним миром архитектора. Необходимо стремиться к познанию законов и научиться их применять.

СИММЕТРИЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АСИММЕТРИЧНЫХ СТРУКТУР (ПРОБЛЕМА РАВНОВЕСНОСТИ СИСТЕМ)

В искусстве архитектуры симметрия рассматривается как средство гармонизации ее форм, являясь одним из "механизмов" приведения к единству функционально-

утилитарного и духовного содержания архитектуры.

Разностороннее исследование явления симметрии на основе объективных законов развития живой природы поможет уточнить место и значение ее в формообразовании архитектуры.

Прежде чем перейти к анализу действия закона симметрии в живой природе и проявления его в архитектуре, рассмотрим, как трактуется понятие симметрии в современной науке.

Симметрия тела определяется (хотя это и не единственно возможное определение) совокупностью поворотов и отражений, которые не изменяют его "внешности", иначе говоря, совмещают его с самим собой [12]. Можно добавить, что отражения следует рассматривать не только в процессе поворота, но и линейного перемещения — трансляции тела в любых направлениях пространства (переносная и мозаичная симметрия).

Известный советский кристаллограф Н.Н. Шефтель кратко и образно охарактеризовал симметрию как "равное размещение равных частей..." [13].

Заметим, что симметрию можно рассматривать в аспекте геометрии формы и в связи с оценкой симметрии явлений, событий (это особенно характерно при анализе биологических функций, литературных и музыкальных произведений и т.д.).

Необходимое условие симметрии геометрического тела — наличие у него так называемых элементов симметрии — осей, плоскостей и центров симметрии (рис. 13). Каждый элемент порождает соответствующие преобразования симметрии или, как их еще называют, операции симметрии: центр — инверсия¹ относительно центра (i), плоскость — отражение в ней (σ), ось n -го порядка — один или несколько поворотов относительно главной оси² на угол $\frac{2\pi}{n}$ (C_n), зеркально-поворотная ось n -го порядка — поворот на угол $\frac{2\pi}{n}$ и последующее отражение в плоскости, перпендикулярной оси поворота (S_n).

Поскольку зеркально-поворотная операция представляет собой комбинацию поворота и отражения, ее записывают условно как "умножение" операций³:

$$S_n = C_n \sigma_h = \sigma_h C_n.$$

Зеркально-поворотная ось второго порядка эквивалентна наличию у тела центра симметрии, который расположен в точке пересечения оси и плоскости (σ_h):

$$S_2 = C_2 \sigma_h.$$

Как правило, объект преобразования симметрии обладает не одним, а многими элементами симметрии (касается это и архитектуры). Связь между ними можно установить, используя одно из важнейших понятий современной математики — понятия групп. Использование понятия (или теории) групп при преобразованиях симметрии в архитектуре создает условие совершенно нового и более глубокого подхода к анализу принципов симметрического построения архитектурных объектов и гармонизации новых в процессе проектирования. Об этом вопросе необходимо сказать несколько слов, опираясь на данные, полученные другими отраслями науки, в том числе и биологией, в процессе исследования форм живой природы.

¹ Инверсия (от лат. *inversio* — перестановка), в общем виде — изменение, нарушение привычного (нормативного) порядка элементов, их перестановка.

² Если тело обладает несколькими осями симметрии, то главной осью называется та из них, у которой наибольшее n .

³ Эта запись означает лишь порядок действия: сначала нужно выполнить ту операцию, которая находится в "произведении" справа, а затем — вторую.

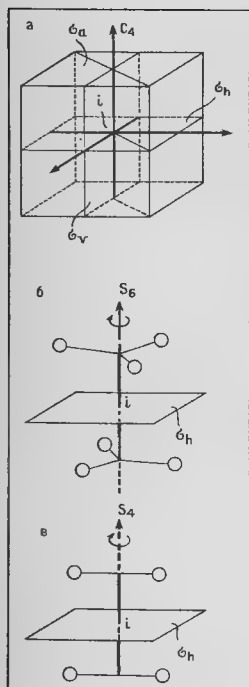


Рис. 13. Схемы элементов симметрии
 а — взаимное расположение осей, плоскостей и центра симметрии; б — зеркальный поворот; в — зеркально-поворотная ось второго порядка с наличием центра симметрии (инверсии); C_4 — ось симметрии; C_2 — отражение в плоскости, перпендикулярной к главной оси; C_2' — отражение в вертикальной плоскости; C_2'' — отражение в диагональной плоскости; i — центр инверсии

Группа — это множество элементов, между которыми установлены бинарные отношения, т.е. любым двум элементам группы соответствует третий элемент той же группы. Например, двум целым числам 4 и 5 может соответствовать число 9, их сумма.

Групповые операции связаны с комбинированием элементов, правила которого называются групповым произведением (опять-таки, здесь подразумевается не обычное "произведение" в смысле умножения, а лишь порядок комбинаций).

В теории групп существуют четыре правила таких комбинаций:

1) правило соответствия: $a \cdot b = c$ (элементы a и b соответствуют c , как, например, двум целым числам 4 и 5 может соответствовать число 9, их сумма);

2) правило ассоциативности: $(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$, означающее, что, если мы возьмем элемент, являющийся "произведением" a на b , и "умножим" его на c , то получим точно такой же элемент, как если бы мы "умножили" элемент a на "произведение" b на c ;

3) в группе должен существовать по крайней мере один элемент, называемый единичным элементом групп (E). В этом случае для любого элемента множества должно быть справедливо: $a \cdot E = E \cdot a = a$;

4) наличие обратного элемента a^{-1} , для которого выполняется соотношение: $a \cdot a^{-1} = a^{-1} \cdot a = E$.

При анализе архитектурных произведений необходима определенная адаптация этих правил. Так, правило соответствия может быть осуществлено через количественные величины (например, площади, объемы). Однако они могут сопоставляться и по форме. Если же взять правило ассоциативности, то оно ведет к тождественным перегруппировкам. Для симметричных операций в архитектуре важен единичный элемент, который формируется в качестве линейного или пространственного модуля, выраженного в количественной и качественной форме (например, конструкция панели, шестигранный элемент сотовой структуры и т.д.). Что

б — Архитектурная бионика

же касается понятия обратного элемента, то оно в архитектуре может превратиться в левую или правую симметрию.

Во всех случаях, если мы хотим обнаружить наличие совокупности элементов симметрии в архитектуре, образующих группы, следует проверить:

- какой из элементов играет роль единичного элемента;
- существует ли для каждого элемента симметрии ему обратный;
- выполняются ли правила ассоциативности и соответствия.

Групповой метод имеет значение в осуществлении методологии или порядка какого-либо действия. Например, невозможно получить гармоничное решение объекта архитектуры, если не найти (не выбрать) единичный (смысловой, формальный и т.д.) элемент, иначе возникнет комбинация "множество" на "множество", что приведет к бесконечному количеству возможных результатов, т.е. к неопределенности. Невозможна также законченность решения без обратных элементов (иначе будет нарушено равновесие) и без возможности ассоциативных группировок, что будет означать суммирование чужеродных элементов.

В итоге, как мы видим, законы симметрии и групповые методы операций симметрии ведут к решению проблемы гармонии форм. К этому необходимо добавить возможность соблюдения иерархии и выявления минимального состояния симметрии при построении форм, поскольку комбинации операций симметрии могут быть очень усложненными. Минимальное состояние симметрии характеризуется наличием лишь оси симметрии первого порядка, а это означает, что тело не изменяет своего вида при повороте на 360° вокруг любой проходящей через него оси (например, сфера).

Для анализа архитектурных форм очень важно нахождение статического центра или точечной группы симметрии. В этом случае какие бы мы операции симметрии не совершали с данным объектом или телом, по крайней мере, одна точка должна остаться неподвижной.

Как известно, некоторые органические соединения в виде углеводов (глюкоза, фруктоза и др.), а также виноградная и рацемическая кислоты, которые являются продуктами живой природы, становятся при растворении оптически активными, хотя в растворах сахара и виноградной кислоты нет кристаллической решетки, которая вращала бы плоскость поляризации света. Следовательно, оптическая активность этих веществ должна быть обусловлена какой-то специфической деятельностью каждой отдельной молекулы. Эта закономерность, известная под названием оптической активности растворов некоторых органических соединений, открытая еще в XIX в. Жаном Батистом Био, была успешно доработана Луи Пастером, который обнаружил, что при высушивании раствора виноградной кислоты имеет место феномен кристаллизации. При микроскопическом исследовании кристаллов виноградной кислоты было установлено, что каждый отдельно взятый кристалл не имеет оси зеркальной симметрии (или, как принято говорить, кристаллы асимметричны) (рис. 14) и знаки их асимметрии равны, т.е. кристаллы тождественны, одинаковы по форме. При исследовании же рацемической кислоты Л. Пастер обнаружил парность кристаллов, наличие правой и левой зеркальной ориентации, т.е. их контрлатеральных форм в равной пропорции. В этом случае всегда имеется пара зеркально-симметричных кристаллов, между которыми можно провести зеркальную ось симметрии. Следовательно, в целом рацемическая кислота симметрична.

С ювелирной точностью, огромной осторожностью и большим терпением Л. Пастер при помощи тончайших

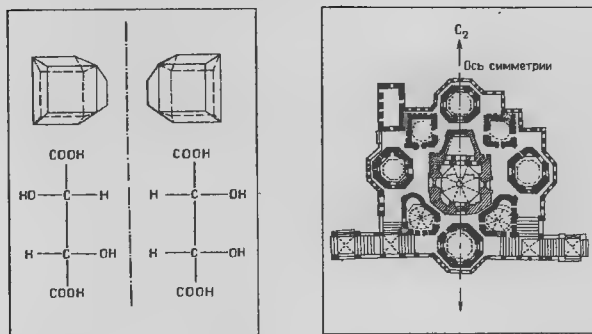


рис. 14. Асимметричность кристаллов рацемической кислоты. План храма Блаженного

инструментов, манипулируя под микроскопом, делил друг от друга асимметричные кристаллы рацемической кислоты. Приготовленные из них растворы оказались различного оптического спектра действия.

Интересно, что оба вида кристаллов давали винную кислоту формально одного химического состава, но различного вращения в плоскости поляризации света (левая и правая плоскости) и разного биологического и фармакологического воздействия, например, на человеческий организм: одно воздействие было аналогично натуральной виноградной кислоте, другое — синтетической.

Так было открыто, что рацемическая кислота состоит из двух оптически взаимно противоположных виноградных кислот, кристаллы которых асимметричны (при симметричности кислоты в целом).

Важно отметить, что асимметричностью кристаллов определяется свойство кислот. Одновременно наличие зеркально разных по симметрии кристаллов стало причиной оптической нейтральности раствора рацемической кислоты, т.е. ее устойчивой равновесности, меньшей активности, чем это наблюдалось в виноградной кислоте. Активность рацемической кислоты можно было повысить нарушением ее симметричности, что и было сделано Л.Пастером. Он установил, что при выращивании некоторых видов плесени для культивирования грибов в растворе рацемической кислоты оптически нейтральный раствор становится активным. Оказалось, что плесень разрушает молекулы кислоты только одного типа, а к их зеркальным прототипам она индифферентна. Видимо, соответствующая асимметрия, характеризующая жизнедеятельность плесени, и предопределила ее избирательное действие на одну из форм или типов виноградной кислоты. Асимметричный микроорганизм, следовательно, может, по Л.Пастеру, демонстрировать свойство, которым не обладает ни одно химическое вещество типа обычных окислителей. Только асимметричные агенты могут оказывать избирательное действие по отношению к энантиомерам¹ [14].

Исходя из описанного выше эксперимента, Л. Пастер высказал твердое убеждение в том, что только в живых организмах можно обнаружить асимметричные вещества, состоящие из асимметричных молекул одного типа. Это была, по его мнению, единственная четко установленная демаркационная линия, которую можно с уверенностью провести между химией живой материи и химией неживого.

Несколько позже истинную природу асимметрии выявили независимо друг от друга Жозеф ле Бель и Якоб Гендик Вант Гофф. Ими было высказано мнение, что атомы углерода имеют четыре электрона на внешней оболочке, хотя углерод может вмещать восемь электронов. Поэтому при заполнении внешней оболочки углерода четырьмя другими атомами создается тетраэдральная асимметричная структура, несовместимая со своим зеркальным изображением.

Таким образом, молекулы органических соединений могут содержать асимметричные атомы, сами оставаясь внешне в целом симметричными, либо же молекулы могут не содержать асимметричных атомов, но быть в целом асимметричны по своей структуре. Поэтому каждое соединение, состоящее из асимметричных молекул, может существовать в двух противоположных ориентациях. Если эти контрлатеральные ориентации равновесны, как это имеет место в рацемической кислоте, то молекулы после соединения создают так называемую мезоформу (среднюю форму).

Тут же следует указать, что биохимическая характеристика сущности асимметричных стереоизомеров может быть оценена и вкусовыми, и обонятельными ощущениями человека (то же самое и в случае рацемической кислоты). Как известно, эти характеристики существенно различаются по спектру действия на организм. Более того, чувствительные к химическим раздражителям нервные окончания, именуемые в физиологии хеморецепторами, сами состоят из асимметричных веществ. Эти рецепторы по-разному реагируют на левые и правые соединения. При введении асимметричных соединений в организм человека и животных возникает соответствующий дифференцированный спектр действия, заключающийся в избирательном влиянии на асимметричные структуры организма. Интересно, что при введении в организм того или иного стереоизомера усваивается только один из его типов, в то время как его противоположная, или зеркальная, аналогия удаляется как ненужное вещество. Кроме того, известны случаи усвоения обоих асимметричных изомеров, но далеко не с одинаковой интенсивностью.

Современная фармакология располагает наглядными примерами различного действия двух стереоизомеров. Например, никотин, полученный из табака, является левой формой никотина. Противоположная ему правая форма называется дектраникотином. Он получен синтетически и гораздо менее токсичен (менее активен), чем его левая форма.

Другой пример: раствор левохиосциамина ведет к резкому расширению зрачков, в то время как раствор декстрахиосциамина в тех же концентрациях практически не влияет на зрачки. Левоадrenalин вызывает сильное сужение сосудов, а его зеркальный прототип примерно в 12 раз менее активен. Аскорбиновая кислота также имеет два противоположных варианта. Отраженная форма этого витамина практически индифферентна. Вытяжка щитовидной железы в виде гормона тироксина представляет собой асимметричную аминокислоту, которая ведет к резкому увеличению процессов диссимиляции в организме, в то время как синтетический тироксин, являясь зеркальным аналогом естественного, хотя и понижает содержание холестерина в крови, не вызывает побочных явлений, характерных для природного тироксина.

Преимущественное число асимметричных соединений углерода, которые исчисляются миллионами, в живом организме человека и животного существуют в одном из своих зеркальных вариантов. Если же в редких случаях обнаруживается наличие обоих зеркально противоположных асимметричных модификаций, то, как правило, они должны быть в каких-либо соединениях.

Проблема влияния зеркальных аналогов различных

¹ Энантиомеры — зеркально обращенные формы.

биологически активных веществ на организм человека и животных в силу громадного количества этих асимметричных соединений еще мало изучена. Однако твердо установлено, что зеркальные аналогии асимметричных структур имеет различный спектр действия на организм человека и животных, а также на растения. Поэтому можно заключить, что органические соединения, являющиеся продуктом живого организма, а также витамины, ферменты, гормоны, медиаторы нервных волокон и другие вещества биологического происхождения асимметричны.

Проблема симметрии требует исследования не только на молекулярном, но и на клеточном уровне. В каждой живой клетке животного, человека или растения помещается строго определенное число хромосом, каждая из которых содержит минимум одну пару спиралей дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Как было относительно недавно установлено, спирали ДНК асимметричны (отсюда их активность) и имеют правую ориентацию. В зависимости от порядка расположения вдоль каждой спирали ДНК четырех нуклеотидов образуется генетический код, который информирует клетку о ее поведении и управляет интенсивностью ее жизнедеятельности. Эти нуклеотиды, входящие в состав спиралей ДНК и определяющие программное развитие клеток, объясняют механизм наследственности. Как известно, в 1962 г. Джеймс Дюэн Уотсон (США), Франсис Гарри Коминтон Крик и Морис Хью Фредерик Уилкинс (Англия) получили Нобелевскую премию за открытие структуры ДНК. Этим открытием были установлены механизмы наследственности, определена асимметричная ориентация ДНК.

Таким образом, растения, птицы, животные, рыбы и человек, включающие асимметричные углеродистые соединения, содержат биологически активные вещества, которые также асимметричны.

Из сказанного можно сделать вывод, что зеркальная симметрия — символ устойчивости — лишь временное, хотя и неизбежное состояние живой природы. Зеркальная симметрия — это частный случай равновесия. Она выражает закрепление определенного этапа роста и развития живых организмов, является результатом процесса накопления энергии. Асимметрия же — расходование энергии живым организмом как результата его активности, динамизма.

Симметрия и асимметрия взаимно дополняются. Без того и другого состояния не может быть, с одной стороны, роста и развития живых организмов, с другой — формирования видов, закрепления наследственности, совершенствования форм.

Характерным примером единства симметрии и асимметрии в живой природе является митоз (деление) клетки, когда внешняя зеркально-симметричная форма деления сопровождается асимметричными процессами компоновки хромосом, цитоплазмы и т.п. внутри дочерних клеток. Даже при поверхностном изучении гелио- и фототропизма растений и обследовании внешнего их вида можно в них определить элементы асимметрии, например направление роста (рис. 15), структурные особенности северной части растения в сравнении со стороной, ориентированной к солнцу, не говоря уже о горизонтальном срезе ствола, ветвей и корней — весьма асимметричных. При специальном изучении этого вопроса можно обнаружить множество элементов асимметрии, обусловленных функциональными процессами, происходящими в растительном мире.

Специального упоминания требует морфологическая макроскопическая асимметрия растений винтообразной формы. Как известно, винтовую форму нельзя совместить с ее зеркальным отображением. Винтовая форма может существовать только в двух четко различающихся вариантах: правый винт, соответствующий



Рис. 15. Асимметричный рост стебля растения в результате гелиотропизма

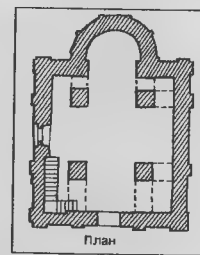


Рис. 16. Церковь Федора Стратилата на Ручье в Новгороде, 1361 г. План

движению часовой стрелки, и левый винт, являющийся зеркальным отражением правого. То же самое можно сказать и о спиральных кривых.

Феномен асимметрии наблюдается не только в растительном, но и в животном мире. Пример спиральной асимметрии — раковины моллюсков как правой, так и левой ориентации. Как известно, одни и те же моллюски всегда закручивают свои раковины в каком-либо одном направлении — либо вправо, либо влево.

Особого рассмотрения требует асимметричная деятельность парных, внешне симметрично расположенных органов. Примерами такой асимметрии могут служить руки человека. Они далеко не равноценны: одна правой, а другая левой ориентации. Хотя анатомически существенной разницы в конечностях нет, однако неравномерная работоспособность, количественная и качественная их характеристики подтверждают бесспорность доминанты одной из сторон. Имеются данные о доминирующей роли правого глаза, слухового анализатора, кровяного давления и т.п. при правой ориентации деятельности верхних конечностей. В связи с наличием односторонней доминирующей ориентации в билатерально симметричных образованиях у людей необходим пересмотр существующих стандартных форм в создаваемых человеком объектах архитектуры, объектах внешней среды, предметного мира с целью осуществления соответствующих изменений для удобства людей с преимущественно правой ориентацией (например, в дизайне, в технологическом управлении производства и т.д.).

Приведенная выше информация достаточно убедительно иллюстрирует асимметричную природу живого мира. Эта закономерность асимметричности обусловлена морфофункциональными особенностями живых структур и предопределена филоонтогенетическим развитием. Иными словами, асимметричность оправдана самой жизнью в буквальном смысле этого слова. Интересно отметить, что если идти изнутри наружу, от структуры к форме, от каждой молекулы и клетки организма к макроструктуре, к внешнему виду организма, то наблюдается постепенное приближение форм к внешне симметричному строению (рис. 16—18). Хотя, как уже говорилось, абсолютно симметричного состояния даже внешних живых форм не наблюдается и вряд ли мы столкнемся где-либо и когда-либо с абсолютно симметричной формой и в архитектуре. Но здесь самое время остановиться на уточнении понятия симметрии в архитектуре.

В вышеприведенном материале разговор шел о так называемой зеркальной симметрии и ее возможных нарушениях, т.е. асимметрии. Вместе с тем современная наука указывает на десяток и более видов

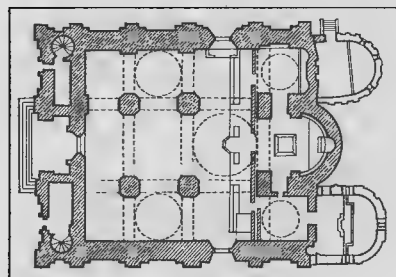


Рис. 17. Архангельский собор в Московском Кремле, 1505–1509 гг. (зодчий Алевиз Новый). Западный фасад, план

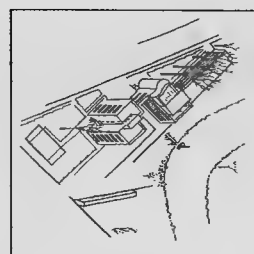


Рис. 19. Общежитие рабочих ватной фабрики в Ростокине (ныне просп. Мира) в Москве, 1928 г. Архитекторы М.Я. Гинзбург и С.А. Лисагор (аксонометрия)

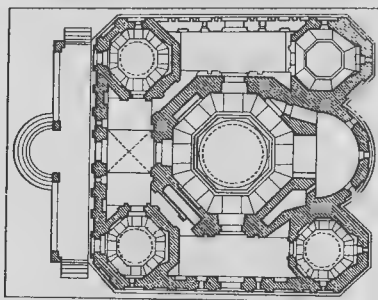
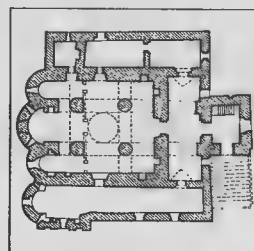


Рис. 18. Церковь Иоанна Предтечи в селе Дьяково, 1547 г. Западный фасад, план



Рис. 21. Собор Снеготорского монастыря в Пскове, 1310 г. Северный фасад и план



симметрии, причем сюда включаются, кроме уже упомянутой зеркальной симметрии, круговая, переносная, мозаичная, спиральная и другие виды, а также их всевозможные комбинации. Возникает вопрос, относятся ли эти перечисленные виды симметрии действительно к симметрии или это какие-либо ее производные, а возможно, и совершенно другие категории, отражающие другие состояния и законы жизни?

Возьмем, например, мозаичную симметрию. Это изоморфные структуры типа пчелиных сот, сеток из квадратных и других решеток (клеточная структура живого организма, радиоларии типа населярий, упаковки из мыльных пузырей и т.д.), развивающихся равномерно во всех направлениях пространства. Такие образования не имеют своих антиподов, не меняют знака поляризации, что способствовало бы их качественному преобразованию, как это происходит в рацемической кислоте или при делении живой клетки (если не переключить их в состояние зеркального отражения, но в таком случае мы возвращаемся к зеркальной

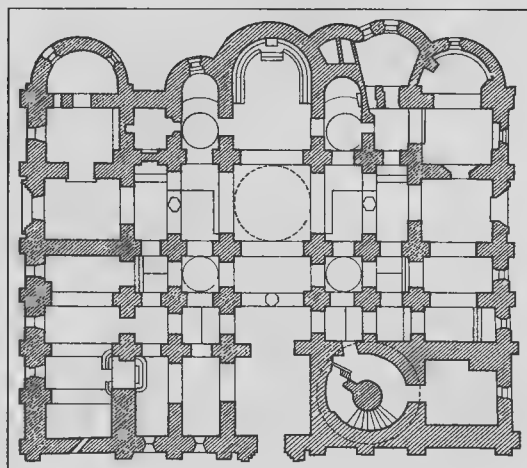


Рис. 20. Собор Софии в Новгороде, 1045–1052 гг. План

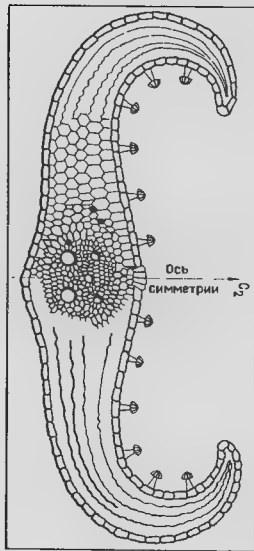
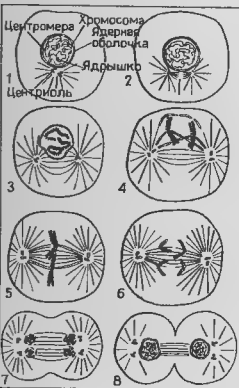
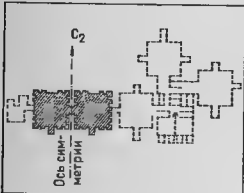
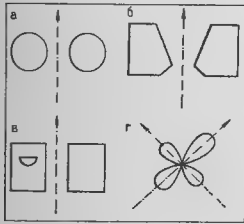


Рис. 22. Исторически сложившиеся системы симметрии в архитектуре:

а — зеркально-тождественная система (две окружности); б — зеркально-симметричная система (два неправильных пятиугольника); в — одноосевая система; г — зеркально-асимметричная многоосевая система

Рис. 23. Зеркально-тождественная симметрия в архитектуре: фрагмент плана здания медицинских лабораторий Пенсильванского университета в г. Филадельфии, 1957—1961 гг. Архит. Л. Кан

Рис. 24. Примеры зеркальной симметрии — митоз (деление клетки)

Рис. 25. Поперечный разрез листа жирянки, увеличенный в 2 раза (одноосевая зеркальная симметрия)

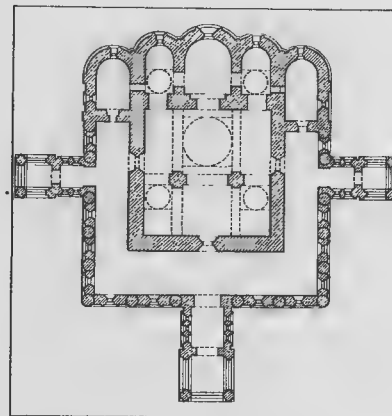


Рис. 26. Ярославль. Церковь Иоанна Златоуста в Коровниках, 1649—1654 гг. Фасад

симметрии). То же самое можно сказать и в отношении других указанных видов симметрии. Скорее мы отнесли бы их к ритмам, выражающим определенный порядок действий и развития организмов, представляющий собой следы поэтапного роста организмов, самостоятельность их на основе повторяющихся структурных элементов.

В архитектуре так же, как и в живой природе, наблюдается взаимодействие симметрии и асимметрии, не приводящее к дисгармонии архитектурных форм и к потере ими визуального равновесного состояния — в функциональном, техническом, экологическом и художественно-эстетическом смысле. Наоборот, нарушения зеркальной симметрии при равновесном состоянии системы означают часто более реалистичное и эффективное решение архитектурных вопросов в указанных выше направлениях.

Известный советский архитектор М.Я. Гинзбург в книге "Стиль и эпоха" пишет об асимметрии в ее равновесном состоянии:

"... мы видим в работах современных архитекторов (т.е. архитекторов 20-х годов — Ю.Л.) появление совершенно нового

плана, большей частью асимметричного, так как редко функции частей здания бывают абсолютно одинаковыми, — предпочтительно открытого и свободного в своей конфигурации, потому что тогда не только лучше омываются все части сооружения воздухом и светом, но и четче читается его функциональная членность, легче угадывается разветвляющаяся в них динамическая жизнь" [15] (рис. 19).

Внутренняя планировка русских церквей часто асимметрична, хотя внешние формы в основном симметричны по отношению к какой-либо одной оси, но и в них наблюдается постоянное нарушение задуманной зеркальной симметрии. Даже в таких, казалось бы, безупречных симметрично-зеркальных фасадах, как в церквях Покрова в Филях в Москве (1693—1694), Спаса в селе Уборы Московской области (1693), Троицы в селе Троицком-Лыкове близ Москвы (1698—1703) и др., имеются отклонения от зеркальной симметрии (рис. 20, 21).

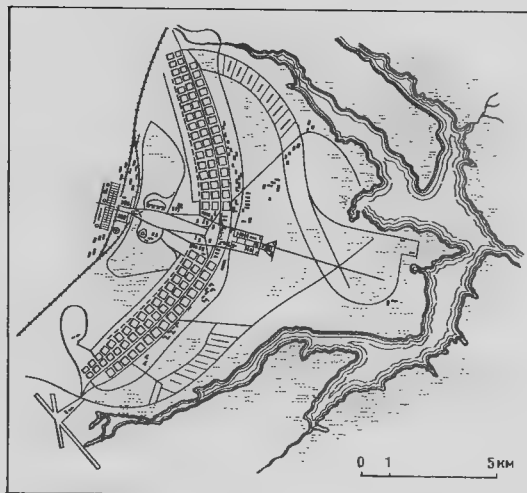
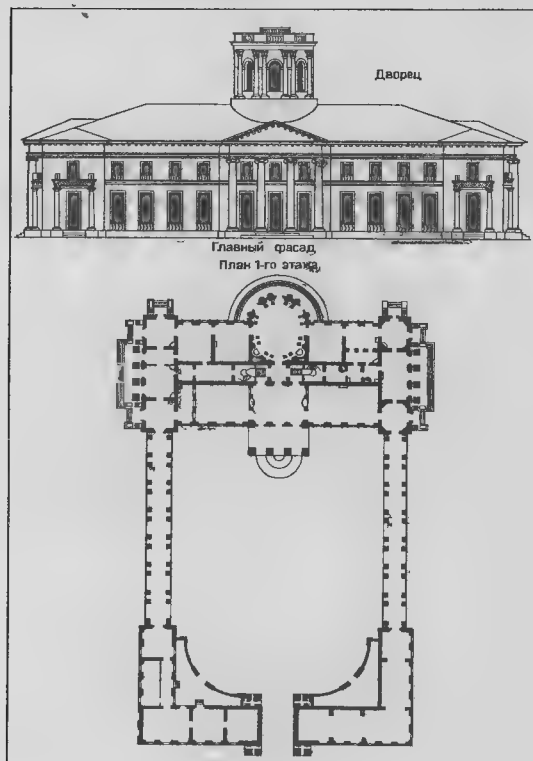


Рис. 30. Лучио Коста. Бразилиа. Конкурсный проект, 1956 г.

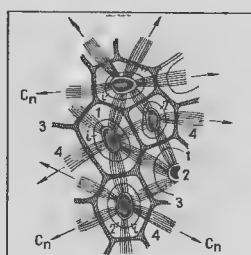


Рис. 31. Форма живой природы (клеточная структура чилибухи)
1 — клетки; 2 — протопласты; 3 — клеточная оболочка; 4 — протоплазматические нити

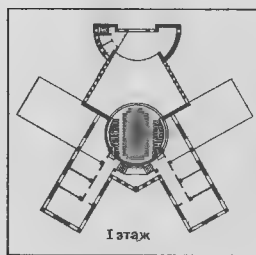


Рис. 27. Архангельское, подмосковная усадьба. Дворец, 1780—1831 гг. Главный фасад и план 1-го этажа. Проект архит. Де Герн

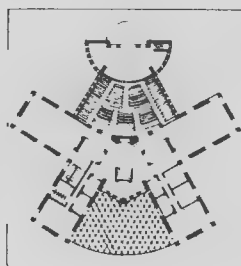


Рис. 28. Клуб (1-й и 2-й этажи) фарфорового завода в Дулеве, 1928 г. Архит. К.С. Мельников. Планы 1-го (а) и 2-го (б) этажей

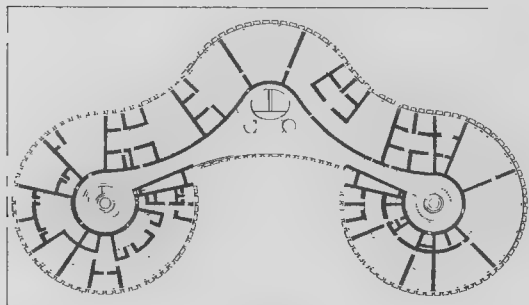


Рис. 29. Филадельфия. Административное здание, 1963 г. Архитекторы Джоуз, Ноулз, Брегер и Канингэм. План этажа

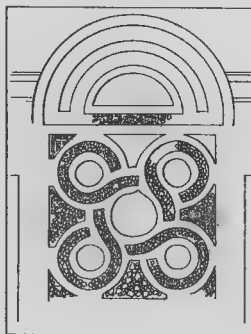


Рис. 32. Отделка алтаря собора св. Софии в Киеве, 1037 г.

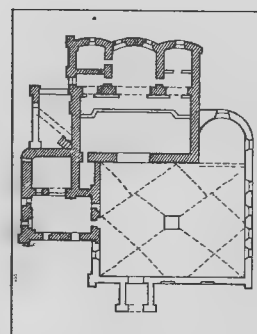


Рис. 33. Церковь Рождества в Путинках, Москва, 1649—1652 гг. План

То же можно сказать и о современных нам зданиях — симметричная сферическая скорлупа-оболочка скрывает за собой сложную "хаотичную" планировку. Но и внешние ее формы редко бывают абсолютно симметричны.

Как говорилось выше, симметрия относится к области понятия равновесия. Весы имеют всегда две чаши, подвешенные к оси симметрии. Порядок включает такие категории, как ритмы, пропорции и т.п. Например, порядок следования элементов в ленточном орнаменте

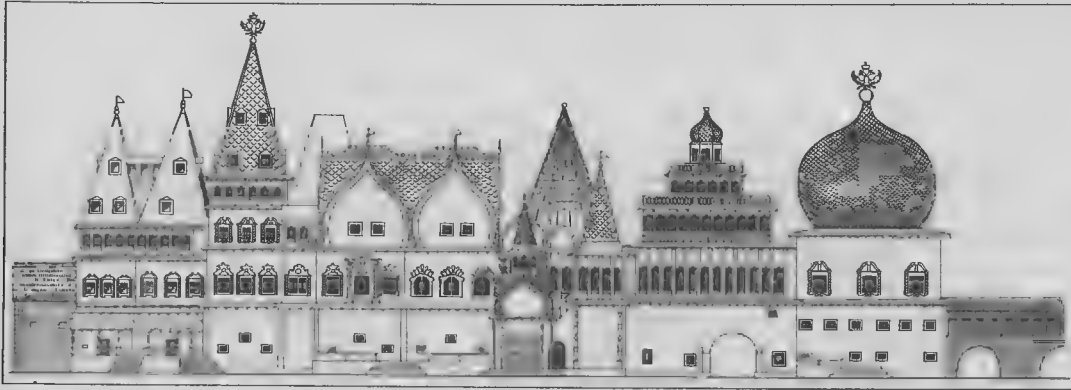


Рис. 34. Коломенское. Царская усадьба близ Москвы. Дворец, 1667–1681 гг. Золчие С. Петров, И. Михайлов, С. Дементьев. Юго-восточный фасад и план



Рис. 35. Комплекс Уотерсайд в Нью-Йорке, 1963–1974 гг. Архитекторы Л. Дэвис и С. Броуди

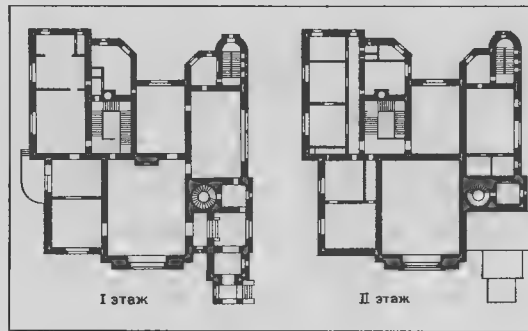


Рис. 36. Особняк Дорожинской. Москва, 1901 г. Планы этажей. Архит. Ф.О. Шехтель

или порядок членения формы, определенный системой пропорций. Порядок — это расстановка, распределение, расчленение. В этом смысле ни симметрия, ни тектоника, ни масштабность не относятся непосредственно к категории порядка, а представляют собой самостоятельные качественные категории гармонии или средств гармонизации. Гармония уже включает в себя равновесность, порядок, соразмерность, тектонику, колористику и т.д.

В архитектуре и живой природе наблюдаются несколько видов симметрии форм, имеющих ось равновесия (рис. 22):

зеркально-тождественная симметрия, когда по обе стороны оси равновесия расположены на равных расстояниях тождественные формы, одинаково ориентированные во всех направлениях пространства, т.е. правильные фигуры — квадрат, правильный треугольник, правильный шестиугольник, куб, тетраэдр, октаэдр и т.д. Особенность этого вида симметрии заключается в том, что фигуры (или формы), расположенные слева и справа от оси равновесия, могут совмещаться не только поворотом на 180° , как в случае с зеркальной симметрией, но и простым смещением по направлению одна к другой, как при совмещении фигур, воспринимаемых нашим левым и правым глазом.

Примеры зеркально-тождественной равновесной симметрии в живой природе вряд ли можно найти даже с формальной точки зрения, не говоря уже о функциональной, разве что в схематичных изображениях форм. Ее можно обнаружить в сфере кристаллов, а также приближенно в архитектуре (рис. 23);

зеркальная симметрия, когда по обе стороны равновесной оси располагаются одинаковые, но неправильные по форме фигуры (их элементы по-разному ориентированы в пространстве), имеющие левую и правую ориентацию к равновесной оси. Их совмещение может происходить лишь поворотом одной фигуры по отношению к другой на 180° (рис. 24–30);

зеркальная асимметрия (равновесная), которая бывает двух типов: одноосевая и многоосевая.

Нарушение зеркальной симметрии в архитектуре наблюдается очень часто. Можно даже утверждать, что большинство зеркально-симметричных композиций имеет те или иные нарушения симметрии. В качестве примера приведем собор Софии в Новгороде.

Многоосевые зеркально-асимметричные композиции характерны были для русской архитектуры в ее доклассическую эпоху (царская усадьба в с. Коломенском; церковь Рождества в Путинках и др.), затем в эпоху формирования стиля “модерн” (например, особняк Рябушинского, спроектированный и построенный архит. Ф.О. Шехтелем, и др.) (рис. 31–36).

В живой природе многоосевых систем (т.е. с отсутствием четко выраженной хотя бы одной равновесной оси) немного. Они обнаруживаются в растительном мире (например, процессы ветвления, о которых будет сказано ниже) и значительно шире наблюдаются на микроуровне.

В заключение можно сделать один общий вывод, что в мире — органическом, неорганическом, архитектурном — фактически отсутствует полная зеркально-тождественная симметрия, что свидетельствует о не-

симметричности жизни. В то же время весьма широко распространены зеркально-симметричные системы с левой и правой ориентациями и уравновешенные зеркально-асимметричные системы. В последних действует закон компенсации нарушения симметрии за счет, например, очертаний визуально воспринимаемых элементов формы, массы материала, цвета и т.д.

Асимметрия в архитектурном плане компенсируется особым построением элементов общего объема здания и т.д. Например, в русских церквях часто равновесие масс устанавливается колокольнями, формой и размерами куполов, входов, приделов и другими средствами. Особенно характерны в этом отношении композиции храма Василия Блаженного в Москве и церкви Рождества в Путинках.

Какой практический смысл имеет приведенное ограничение понятия и ее смысловое уточнение для архитектуры? Ограничение понятия позволяет сосредоточить внимание на равновесии по отношению к выбранным осям или плоскостям симметрии и решать левую и правую сторону симметрии, что, в целом, упрощает композиционную задачу. Вместе с тем композиция может и не ограничиваться, как мы видели, одной плоскостью. В этом случае для сложных сочетаний можно пользоваться модульными симметричными элементами (модулями) и на их основе создавать уравновешенные асимметричные композиции, что соответствует индустриальной технологии и приводит к возникновению определенных ритмов (называемых по другой классификации переносными, мозаичными и круговыми симметриями).

Сформированные на основе зеркально-симметричных элементов — модулей асимметричные композиции вдохнут в последние жизнь и приблизят их к живым образам природы, в которой симметрия согласуется с асимметрией.

Смысловое же уточнение и углубление понятия зеркальной симметрии позволяет раскрыть идею возможного многообразия ее приемов, открывающегося как в исторической и современной практике архитектуры, так и в живой природе.

СПИРАЛЬ И ВИНТОВЫЕ КРИВЫЕ

Обратим внимание еще на одну закономерность формообразования, — спираль, часто встречающуюся в природе, а также в человеческой деятельности.

Спиральная конфигурация является фундаментальной морфологической характеристикой систем природы на различных структурных уровнях их организации. Спиральные формы прослеживаются и на уровне биомакромолекул, и на уровне галактик, не говоря уже о подавляющем многообразии спиральных форм среди растительных и животных организмов. Присущи они также и архитектуре. Но прежде, чем перейти к их описанию, приведем краткие сведения о разновидностях и геометрических свойствах спиралей.

Геометрическая спираль (изгиб, извив — *лат.*) представляет собой совмещенную с плоскостью кривую, которая описывается точкой, движущейся с постоянной скоростью или с ускорением (замедлением) вдоль луча, вращающегося около неподвижной точки (полюса) с постоянной угловой скоростью¹. В зависимости от начальных условий и закона изменения расстояния от полюса до движущейся точки различают множество

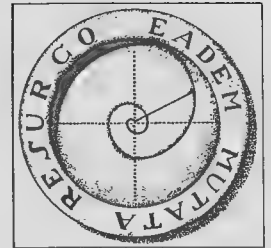
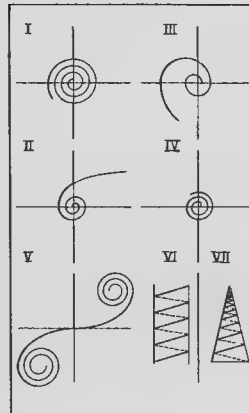


Рис. 37. Греческое изображение спиральных кривых (рис. Ю.С. Лебедева)

I — спираль Архимеда; II — гиперболическая спираль; III — логарифмическая спираль; IV — параболическая спираль; V — спираль Корню; VI — винтовая линия; VII — конусообразный винт

Рис. 38. Изображение спирали и надписи, высеченные на надгробии Якова Бернулли: Измененная, я воскресаю той же

спиральных кривых (рис. 37): спираль Архимеда, гиперболическая и логарифмическая спирали, эвольвента (развертка — *лат.*) окружности¹, клотоида (кручение, прядение — *греч.*) и др. Некоторое графическое сходство со спиралями обнаруживают кривые четвертого порядка, такие, как улитка Паскаля (конхоида окружности) и кардиоида.

В физическом отношении спираль — это взаимодействие двух сил: центробежной и притяжения к земле.

Для аппроксимации контуров исследуемых объектов природы, их проекций или каких-либо определенным образом выделенных кривых, характеризующих геометрические свойства этих объектов, наиболее часто используются спираль Архимеда и логарифмическая спираль. Согласно мнению большинства специалистов-морфологов, природными конфигурациями чаще всего и наилучшим образом соответствует логарифмическая спираль², что не исключает других спиральных конфигураций.

Математики античных времен при исследовании и построении кривых использовали в основном кинематический метод. Так, Никомед (II в. до н.э.) путем сложения поступательных и вращательных движений построил конхоиду. Аналогичный метод был использован и Архимедом при построении спирали, носящей его имя. Эта спираль была открыта его другом Кононом из Самоса (III в. до н.э.).

Спиралью Архимеда является линия, описываемая точкой, которая движется с постоянной скоростью вдоль прямой, равномерно вращающейся около неподвижной точки. Наглядным примером, иллюстрирующим механику образования этой спирали, является

¹ Эвольвента окружности находится в близком родстве со спиралью Архимеда.

² При определенных значениях параметра логарифмическая спираль гречески мало отличима от спирали Архимеда. Возникающие в конкретных эмпирических ситуациях споры относительно предпочтения той или иной спирали отражают, очевидно, методический подход исследователей к изучаемому явлению или объекту. Если исследователь предпочитает простоту вычислительных операций, то при описании конфигураций, близких к окружности, он выберет уравнение спирали Архимеда; если же он желает познать процесс формообразования, рассмотреть изменение формы объекта в его динамике, развитии, то в аналогичной ситуации следует предпочесть логарифмическую спираль.

¹ Строго говоря, винтообразные кривые не относятся к спиральям. Вместе с тем винтообразные кривые можно считать частным случаем спирали (или наоборот). Характеризуя архитектурные и природные формы, мы будем, как принято, пользоваться термином "спираль".

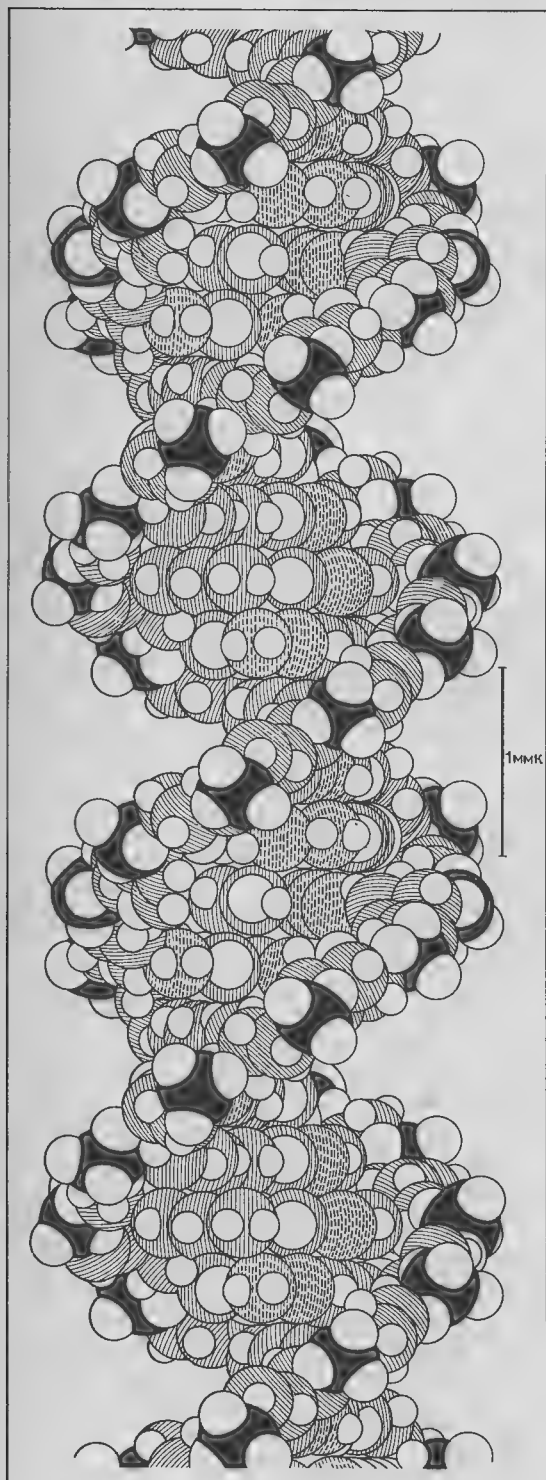


Рис. 39. Спиральная конфигурация молекулы ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты). Модель и структурная

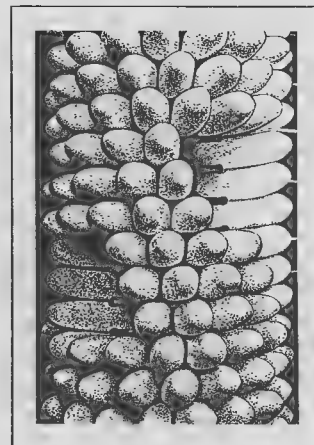
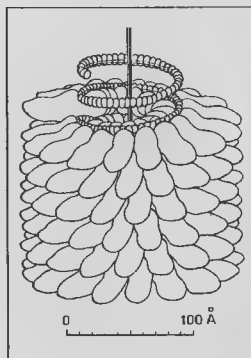
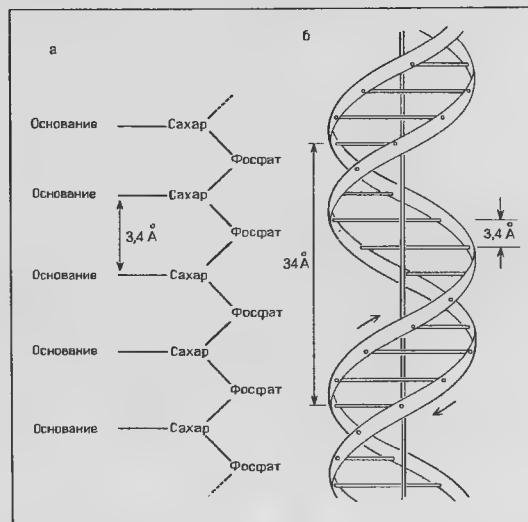


Рис. 40. Спиральная конфигурация вируса табачной мозаики
1 — модель; 2 — фрагмент модели: белковая оболочка (капсида), построенная из множества одинаковых морфологических единиц — капсомеров

эластичный длинный цилиндр (шланг), намотанный на барабан или катушку. Если пересечь витки спирали Архимеда прямой, проходящей через ее полюс, то последовательные точки пересечений будут отстоять одна от другой на одинаковых расстояниях, равных диаметру шланга. В то же время численные значения расстояний от полюса до точки пересечения прямой с дугами спирали будут образовывать арифметическую прогрессию.

В отличие от спирали Архимеда логарифмическая спираль является траекторией точки, которая движется вдоль равномерно вращающейся прямой, удаляясь от полюса или приближаясь к нему со скоростью, пропорциональной пройденному расстоянию. В логарифмической спирали углу поворота пропорционально не само расстояние от полюса до точки кривой (как это имеет место в спирали Архимеда), а логарифм этого расстояния. Эта спираль пересекает все прямые, проходящие через полюс, под одним и тем же углом. Поэтому она иногда называется "равноугольной спиралью".



Рис. 47. Вавилонская башня.
Рисунок XVII в.

Рис. 48. Спиралевидная мечеть в Самарре. Ирак, IX в.
(рис. Ю. Лебедева)

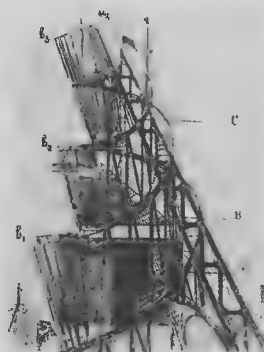


Рис. 51. Памятник III Интернационала (модель), 1919 г.
Художник В.Е. Татлин



Рис. 52. Спиралевидные башни близ Лос-Анджелеса, 1921–1951 гг. Автор: каменщик Симон Родилла

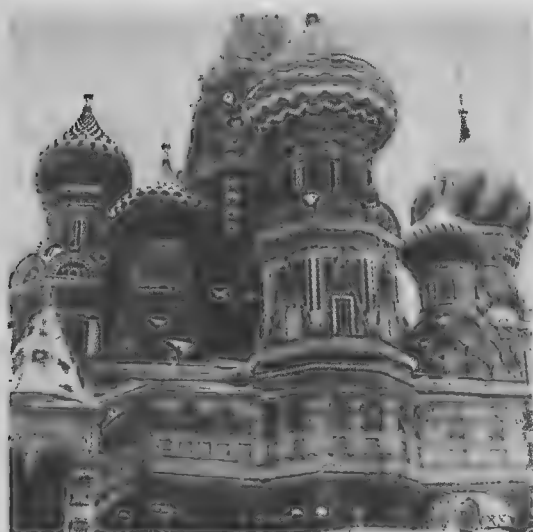


Рис. 49. Купол Покровского собора (храм Василия Блаженного) на Красной площади в Москве

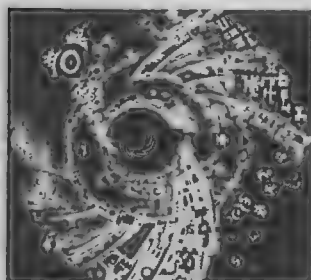


Рис. 50. Город Ауервилль. Индия, 1970-е гг.

Декарт (1596–1650) был первым, кто исследовал свойства им же открытой в 1638 г. логарифмической спирали (полярное уравнение спирали). Независимо от него Торичелли (1608–1647) нашел методы вычисления ее площади, а также спрямления дуги спирали (≈ 1640 г.). Торичелли называл эту спираль “геометрической спиралью”. В конце XVII в. многие свойства “изумительной спирали” (*spira mirabilis*) были открыты Якобом Бернулли. Свойство инвариантности, а также другие геометрические свойства этой спирали произвели на ученого столь сильное впечатление, что в

завещании он распорядился высечь на своем надгробии графическое изображение спирали и слова: “Измененная, я воскресаю той же” (*Eadem mutata resurgo*) (рис. 38). Название “логарифмическая спираль” (угол между полярными радиусами пропорционален логарифму их отношения) дано Вариньоном в 1704 г. Логарифмическая спираль была предметом многочисленных исследований, которые продолжаются и в наше время.

Помимо основных свойств логарифмической спирали, приведенных на рис. 37, отметим, в частности, ее картографическое свойство. Если на поверхности сферы провести линию, пересекающую меридианы под постоянным углом, то ее проекция из полюса сферы на экваториальную плоскость будет изображаться логарифмической спиралью; проекцией меридианов в этом случае будут лучи, направленные по полярным радиусам спирали, пересекающим ее под тем же углом, под которым сферическая линия, называемая локсодромой (кососежной от греч. “локсос” — косою и “дромос” — бег), пересекает меридианы. Корабль при неизменном курсе под углом к меридианам движется по локсодроме.

Нам еще часто придется обращаться к логарифмической спирали. Забегая несколько вперед, отметим лишь, что свойство инвариантности ее стало отправной точкой идеи построения экспоненциальных решеток и использования последних для разработки конструктивных схем трансформируемых оболочек и других конструкций.

Выше уже отмечалось, что спираль является своего рода морфологическим стандартом структур различных систем природы. Одним из примеров, иллюстрирующих спиральную (винтовую) конфигурацию на молекулярном уровне, является упомянутая выше молекула дезоксирибонуклеиновой кислоты — ДНК (рис. 39).

На рис. 40 показана структурная модель белковой оболочки — капсиды вируса табачной мозаики, построенной по спирали из множества одинаковых морфологических единиц — капсомеров.

Спиральный тип деления клетки характерен для многих живых организмов. Обычно во всех эмбриональных структурах на начальных стадиях деления клетки располагаются радиально; на последующих стадиях во многих случаях этот тип деления сменяется спиральным.

Спиральные формы живой природы изучались многими исследователями. В частности, Гёте рассматривал спирали, присутствующие в конфигурациях растений и животных как символ жизни.

Наиболее представительно спиральные (винтовые) формы проявляются у цветков растений (рис. 41), раковин моллюсков (рис. 42) и др.

Волосы у многих людей завиваются в виде одной из ветвей клотоиды, известной так же как "спираль Корню". Подобным образом ростки папоротника часто принимают вид ветви клотоиды из-за неравномерного роста клеток в вершине стебля растения. Каждая ветвь клотоиды напоминает пружину часов, закручивающее усилие которой на ось остается неизменным, как бы туго эта пружина ни была заведена.

Спиральные формы широко развиты и в неживой природе. Несколько неожиданно смотрятся спиральные трещины, образовавшиеся в результате механического удара на холсте старинной картины (рис. 43).

Береговой контур, а также орографическая схема Антарктиды (рис. 44) ясно указывает на существование двух спиральных ветвей, продолжением одной из которых является Южная и Северная Америка и, по-видимому, Африка и Европа; продолжение другой составляют Австралия, Индия, Азия.

Аналогичное планетарное явление просматривается на Марсе, где четко видна спиралевидная структура полярной шапки льдов (рис. 45). Величайшие из всех спиралевидных образований в природе — спиралевидные галактики, диаметры которых измеряются тысячами световых лет (рис. 46).

Стоит ли говорить о том, что спираль чуть ли не основная, а может быть и основная форма существования нашей жизни и взаимодействия звездных систем.

Спираль с точки зрения, например, физической — сжатая пружина; это — концентрация энергии. Распрямление пружины означает вместе с тем отдачу заряда энергии. Дискбол, например, закручивает свое тело вначале в спираль, а затем распрямляется, отдавая энергию спирали в толчок, направляющий полет снаряда — диска.

Чувство значимости спирали в жизни человека, по-видимому, издавна понимали люди. Они изображали ее в своих украшениях, орнаментах. Явно неравнодушны к спирали были древние греки, включавшие ее в капители ионических колонн. Библейская Вавилонская башня (рис. 47) строилась на основе особой квадратной пространственной спирали (проектируемой в плоскую), посредством которой люди намеревались добраться до убежища бога на небесах.

В практике традиционной архитектуры спираль возникает не часто, но оставляет значительный след или фиксирует определенные этапы развития архитектуры. Известна, например, спиралевидная мечеть в Самарре (Ирак, IX в.) (рис. 48). Архитектор итальянского барокко Франческо Борромини (1599 — 1676) впервые сделал спиралевидный купол церкви Сант Иво дельла Сапиенца в Риме (1642 — 1667). Динамизм, устремленность вверх, подчеркнутая различными пластическими средствами, закрепляется спиралью вместо обычной чаши купола. Как пишет известный швейцарский теоретик архитектуры Зигфрид Гидион: "Световой фонарь, венчающий церковь, со своими сдвоенными колоннами, резко изломанными очертаниями карниза и фантастической спиралью вместо обычной чаши купола — все это кажется органически выросшим явлением природы" [16].

В русских церквях, в ее куполах мы также наблюдаем завитки спирали, например купола храма Василия Блаженного на Красной площади в Москве (рис. 49) и обрамление входа Меншиковой башни.

В конце XIX в. английский градостроитель Теодор Фрич спроектировал город, развивающийся по спирали. По идее Т. Фрича, спираль дает возможность свободно развиваться городу, одновременно сохраняя компактность и торможение темпов удаления периферии от центра города, что имело большое значение в условиях

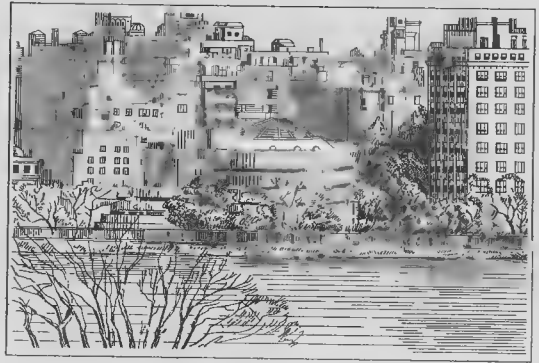
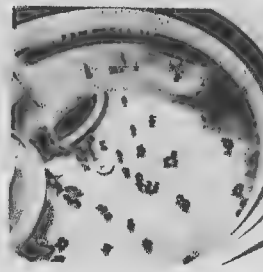


Рис. 53. Музей Гуггенхайма в Нью-Йорке, 1944–1960 гг. Общий вид (рис. Ю.С. Лебедева), интерьер



быстрого разрастания индустриальных городов. Аналогичный проект города Ауервилль (рис. 50) был реализован в 1970-е г. в Индии.

Ясное выражение принцип спирали нашел в работе художника-конструктивиста В.Е. Татлина — модели памятника III Интернационала, выполненного в 1919–1920 гг., а также в вариантах более поздних лет (рис. 51). Прежде всего, спиральная башня поражает динамизмом своего наклона, в котором заложена определенная идея — ось башни параллельна земной оси. Ее высота 400 м — это 1/100 000 земного меридиана. Таким образом, с самого начала она была задумана как часть "архитектуры" Земли. В этом ее большой жизненный смысл — она символизирует общность, интернационализм простых людей всей Земли.

По своей пространственной организации она представляет собой открытую металлическую конструкцию (в модели она была деревянная), внутри которой, как вариант, подвешены один над другим четыре больших стеклянных объема простой геометрической формы: куб, треугольная призма — пирамида с прямыми углами между двумя гранями и основанием, цилиндр и полусфера. Фактически это четыре самостоятельных крупных здания (длина ребра куба, например, по проекту 110 м).

Несущий каркас башни состоял из двух спиралей, скрепленных наклонной мачтой объемной формы, которая была заделана у основания и имела свободный конец наверху. Спирали башни соединены между собой зигзагообразной решеткой. Подвешенная конструкция, несущая внутренние объемы, освобождала от необходимости организовывать для них фундаменты, что продолжало идею создания грандиозной, зрительно легкой пространственной системы.

Заклученные внутри спиралей куб, призма, цилиндр и полусфера должны медленно, незаметно для глаза вращаться с различной скоростью, символизируя медленное вращение Земли. Причем, динамика всей композиции заключается не в фиксации вращения, а в обнаружении временных изменений всей композиции: так же мы об-

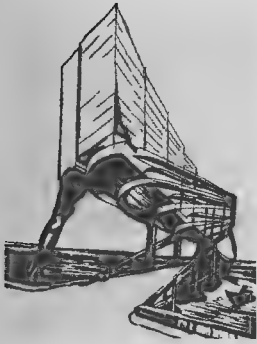
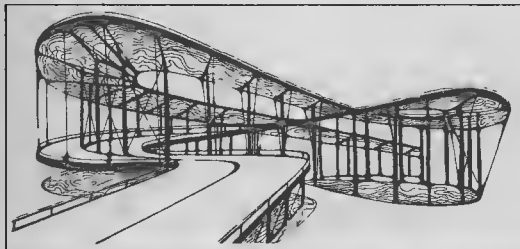


Рис. 54. Проект гаража для Парижа сопорой в виде спирали, 1925 г. Архит. К.С. Мельников

Рис. 55. Вход в Центральный парк культуры и отдыха в Москве. Проект, 1929 г. Архит. М.Д. Мазманян (рис. А. Лебедева)

Рис. 56. Дом "Геликоид". Проект. Архит. М. Николетти и инж. С. Мусмечи (Италия)



наруживаем изменения, налагаемые временем на жизнь живого организма — цветка, яблони, живого пространства природы.

Но, пожалуй, самое удивительное это то, что В. Татлин применил двойную спираль, открытую в молекулах ДНК, которую ученые назвали "спиралью жизни".

В. Татлин утвердил эту "спираль жизни" в архитектурном сооружении на уровне общественной жизни человека. Может быть, это и не случайно — интуиция живого человека, а также наблюдение форм живой природы подсказали В. Татлину эту "живую" конструкцию. Известно, что В. Татлин охотно обращался к живой природе и мечтал о конструировании новых кораблей, воплощающих в себе аэродинамические принципы водоплавающих организмов.

В истории архитектуры есть замечательный факт, связанный с созданием спиралевидных сооружений. Что подсказало простому неграмотному рабочему-каменщику Симону Родилле спиралевидную форму трех башен высотой 30–20–10 м, которые он построил близ Лос-Анджелеса собственными руками на могиле своей жены (рис. 52). Не внутреннее ли, интуитивное стремление утвердить посредством спирали жизнь? Вполне возможно, что так и было.

Эти башни С. Родилла строил 30 лет (1921–1951) из металла и цемента, инкрустированного цветными камнями и стеклами.

В наше время мы также сталкиваемся с фактами проектирования и создания архитектурных объектов, построенных по принципу спирали, например, музей Гуггенхайма (1944–1960) в Нью-Йорке, созданный Ф.Л. Райтом (рис. 53). Сооружение задумано как огромная железобетонная расширяющаяся кверху спираль, на которой размещена картинная галерея длиной 1200 м. Наружная стена галереи служит для размещения экспозиции. По другую сторону галереи — барьер, вдоль которого тянется непрерывная скамья. По верху наружной стены идет ленточное остекление длиной 1200 м. Галерея освещается также со стороны внутреннего двора-колодца, перекрытого стеклянным куполом, дающим рассеянный свет. К главной спирали примыкает расположенный в отдельной шахте второй спиралевидный пандус меньшего диаметра (следовательно, более крутой). Он служит для быстрого сообщения между этажами. Здесь же проходит лифт. Посетители поднимаются лифтом наверх, а отсюда уже начинают осмотр галереи, спускаясь по пандусу.

Идея внутреннего пространства со спиральным пандусом воплощена Ф.Л. Райтом и в здании магазина Морриса в Сан-Франциско (1940 г.).

По спирали построена школа "Валли Уинде" в штате Миссури (США). Вот, что говорится в информации об этой школе ("Америка", 1969, № 5): "Новое здание отвечает целям школьного управления, которое надеется, что таким путем удастся осуществить непрерывный процесс в общих и индивидуальных учебных планах, обеспечить более гибкое расписание уроков и предоставить возможность преподавателям для повышения квалификации и проведения экспериментальных программ. В школе нет подразделений на классы...".

В этом случае спираль, как и в музее Гуггенхайма, является выражением не конструкции и не только психологического образа (памятник III Интернационала), а функционального содержания сооружения архитектуры — системы нового, бесклассного метода обучения, движения по школьной "лестнице" в соответствии со способностями обучающихся.

С точки зрения пластической организации архитектурного пространства очень емкое определение смысла спирали дал З. Гидион: спираль — это "... стремление найти выражение для динамического взаимопроникновения внутреннего и внешнего пространства" [16].

Спираль занимала мысли и советского архитектора К.С. Мельникова. В связи с проектированием района Лужников в 1935 г. в "Архитектурной газете" (1935, 3 сент.) была опубликована заметка "Эстакада или подъем по спирали", в которой он писал: "Составляя свой проект, я сосредоточил внимание на использовании природной ситуации. Решая переход от низкой части к нагорной, я сосредоточился на поисках такого варианта перехода, кото-

рый по возможности не нарушил бы природных качеств, а, наоборот, их бы усилил, возвеличил и подчеркнул.

Во всяком случае переход должен быть компактным. Полагая эстакада деформирует природную геометрию; поэтому в своем проекте я предлагаю вместо эстакадной спиральную форму подъема.

Нужно или резко оторваться ввысь от самого плато, или сохранить переход на уровне Лужниковского плато".

Принцип спирали был использован К.М. Мельниковым в проекте гаража для Парижа (рис. 54). В этом проекте архитектор предложил подвесить стоянку над мостами Сены: "Явилась, — писал он, — острая конструктивная идея, состоящая из двух взаимопротивоположных консолей, удерживающихся от падения собственным равновесием... Воздушная ерхитектура стоянки нуждается в защите ее от ветрового кручения — два атланта на противоположных углах сооружения парализует ветер" [15].

Спиральным завихрением ветров противостоит спираль стоянки-гаража. Сходная конструкция была впервые реализована в 1953 г. в США. М. Новицким и получила затем значительное распространение.

Пространственная спиралеобразная форма входа в Центральный парк культуры и отдыха в Москве (проект archit. М.Д. Мазманяна, 1929) придала его архитектуре динамизм и необычность формы (рис. 55).

В чем же в итоге смысл использования природной формы спирали (ее принципа, закономерности) в архитектуре? Почему эта форма привлекает зодчих и какие возможные ее перспективы применения в архитектуре?

Прежде всего, спираль позволяет протяженную форму сделать компактной, т.е. решить проблему максимального использования архитектурного пространства. Ярким примером такой компактности в живой природе служит ископаемый образец раковины Пахидикуса. Ее диаметр равен 0,4 м, но если ее развернуть в "ленту", то ее длина составит 10 м. Подобная форма спирали, используемая в архитектуре, может обеспечить большую экономию территории застройки, что очень важно для современных городов.

В функциональном отношении спиральная форма часто очень удобна и необходима, например, при строительстве гаражей, определенных видов промышленного производства, пандусов, спусков и т.д.

В определенных случаях спираль может способствовать упрочнению конструкции. В этом отношении перспективно предложение archit. М. Николетти и инж. С. Мусмечи (Италия), спроектировавших жилой дом "Геликоид" в виде трех вертикально закрученных спиралевидных или винтообразных пластин, сомкнутых наверху. Такая форма позволяет также более равномерно распределить в здании инсоляцию (рис. 56).

В спирали, как уже говорилось, заложена идея роста и развития. Не целесообразно ли использовать эту идею в архитектурных проектах, учитывая перспективу развития объекта архитектуры или комплекса?

Нельзя забывать и об интересных динамических свойствах спирали, придающих архитектуре определенную живописность и красоту и служащих средством связи архитектуры и окружающей природы.

В главе о конструкциях будет также рассказано об использовании принципа спирали (винта) для получения тонкостенных скорлуп-оболочек — турбосом.

ПРОЦЕССЫ ВЕТВЛЕНИЯ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Другой фундаментальной морфологической характеристикой природных систем является ветвление. Ветвящиеся формы встречаются также и у спиралевидных форм, на всех структурных уровнях, начиная с молекул и кончая космогоническими системами, такими, как спиральные галактики.

Достаточно полного и четкого определения ветвления, удовлетворяющего различные области знания,

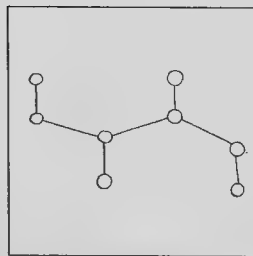


Рис. 57. Периодический структурный элемент ДНК

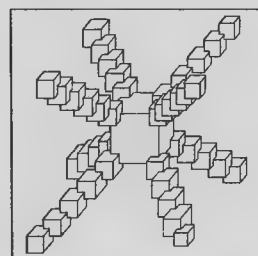


Рис. 58. Ветвление кристалла

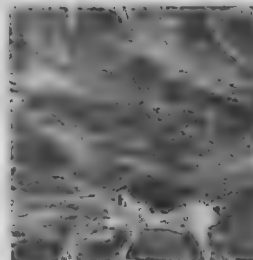


Рис. 59. Структура ткани драконовой

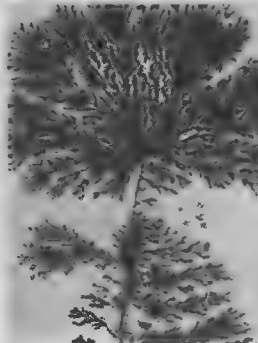


Рис. 60. Дендрит окиси марганца (по В. Клеберу)

пока еще нет. Некоторые существенные черты этого явления были выражены еще в 70-х годах прошлого столетия ученым Ю. Саксом: "Разветвлением образуются системы одноименных членов". В этой формулировке заключены два важных момента: во-первых, ветвление рассматривается как процесс, во-вторых, ветвление есть итог этого процесса. В результате такого процесса возникает разветвленная система, состоящая из "членов", т.е. элементов, обладающих однородными свойствами и взаимообусловленными связями. Таким образом, ветвление — это пространственно-временной процесс [35, 38].

Процесс, приводящий к ветвлению, — стохастический процесс, несущий в себе черты и закономерного, и случайного. Изучение морфологии таких процессов, исследование их параметрических характеристик представляет значительный интерес для архитектуры. Думается, что данная проблема может быть решена на основе использования методов архитектурной бионики. Ее решение может сыграть важную роль в оптимизации транспортных коммуникаций города с перспективой его развития на многие годы. Кроме того, аналоги процессов ветвления, наблюдающихся в живой природе, могут быть использованы при разработке несущих конструкций, оболочек-скорлуп, трансформируемых конструкций и др.

Активный интерес к изучению явления ветвления начал проявляться лишь в 40-х годах. К концу 40-х и началу 50-х годов относится возникновение теории ветвления в математике, хотя отдельные вопросы рассматривались в последней четверти XIX в. учеными Гальтоном и Ватсоном в плане решения задачи о вырождении фамилий (поэтому ветвящийся процесс с дискретным временем называется иногда процессом Гальтона-Ватсона). Заметим, что биологические процессы размножения в популяциях выходят за рамки моделей ветвящихся процессов (появление новых частиц обусловливается взаимодействием нескольких существующих в данный момент частиц) [36].

Рассмотрим несколько природных объектов, в которых ветвление выражено наиболее ярко.

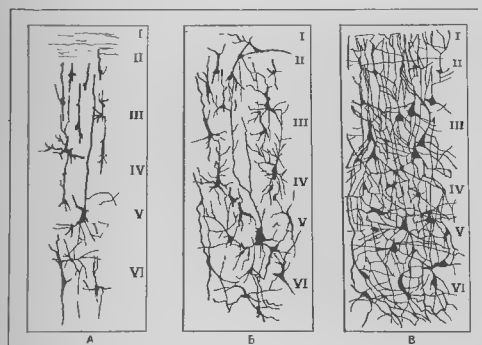


Рис. 61. Нарвные клетки коры головного мозга человека в различном возрасте [39]
А — 2 мес; Б — 6 мес; В — 2,5 года;

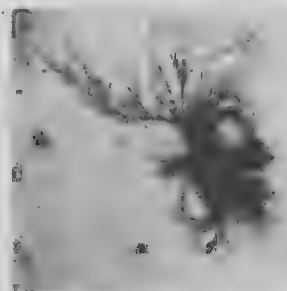
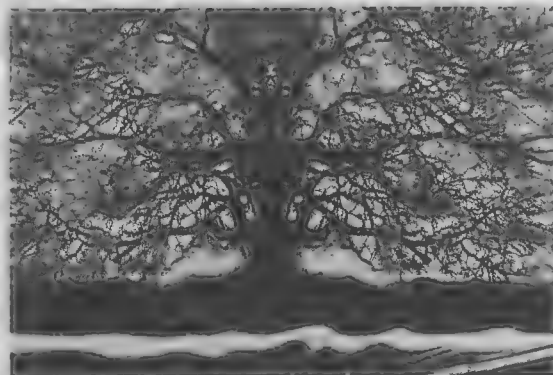


Рис. 62. Нервное волокно

Рис. 63. "Дафния" (мастер А. Ямнитцер, 1579 г.)

Рис. 64. Дерево (фото Дж. Улсмана)



Как уже отмечалось, ветвящиеся формы весьма характерны для молекулярных структур, в частности периодический структурный элемент молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) можно отнести к ветвящейся форме (рис. 57). Чрезвычайно широко представлен ветвящимися формами мир кристаллов. На рис. 5В показан одиночный кристалл, из вершин которого отходят ветви — цепочки идентичных по форме, но меньших по размерам аналогичных кристаллов. Весьма интересны формы ветвления у так называемых нитевидных кристаллов кремния (рис. 59), которые выращиваются в условиях глубокого вакуума при использовании золота в качестве примеси-растворителя. Очевидно, многие наблюдали дендритовые формы кристаллов, такие, например, как дендриты окиси марганца (рис. 60). Ледяные узоры на оконных стеклах также отображают процессы ветвления, происходящие на кристаллическом уровне, и морфологически очень похожи на те же дендриты кристаллов марганца. Нервные клетки мозга образуют на первый взгляд запутанную переплетающуюся картину волокон (рис. 61). Однако по мере роста все более явственно проявляется упорядоченная структура, очень напоминающая транспортную сеть города. При большом увеличении нервные волокна (рис. 62) выглядят, как экзотические водоросли. В живой природе ветвление хорошо выражено у морских организмов. На рис. 63 приведено фото статуэтки "Дафния", выполненной из серебра Абрахамом Ямнитцером в 1579 г.; голова и руки "Дафнии" сделаны из красного коралла, олицетворяющего превращение ее в лавровое дерево. Деревья — типичные представители ветвящихся форм, одна из которых запечатлена на фото Дж. Улсмана (рис. 64). Листья растений, как правило, представляют богатый набор хорошо наблюдаемых конструктивно выраженных форм ветвлений, проявляющихся в нерватуре и в жилках (рис. 65). Ветвление геологических систем, процессы трещинообразования, горообразования — все это типичные явления в природе. Взрывные процессы

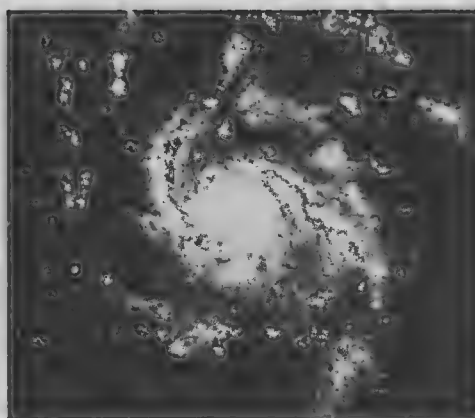
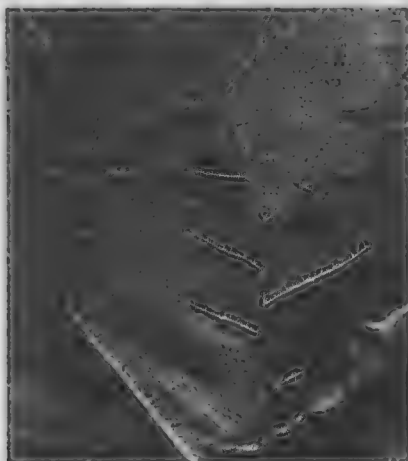
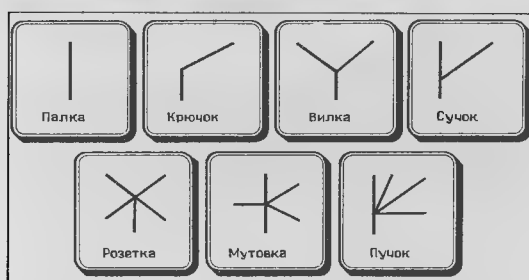


Рис. 65. Нерватура листа лопуха (фото И. Пальмина)

Рис. 66. Ветвление спиральной галактики

Рис. 67. Морфологическая модели ветвления (по Л.М. Шафрановой)

Рис. 68. Великая Москва (Сергей Шестаков, 1924 г.)



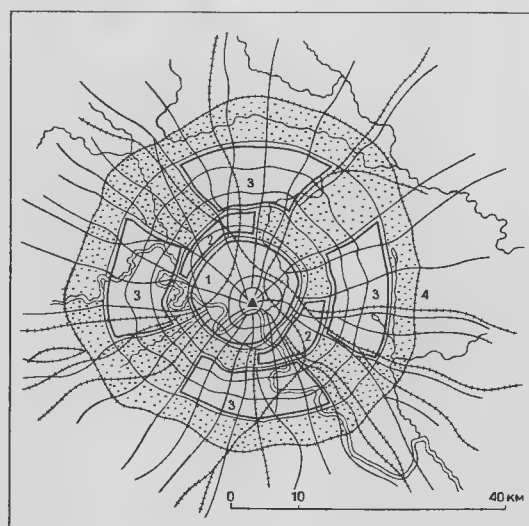
в звездных системах также приводят к ветвящимся формам туманностей; нередко можно наблюдать спиральные галактики, которые также ветвятся (рис. 66).

Рассмотрение конкретных объектов показывает, что формы ветвления также весьма разнообразны. В то же время можно предполагать, что ветвление как процесс и образующиеся в его результате формы должны обнаруживать черты сходства у разных объектов и на разных уровнях морфологической организации.

В морфологическом аспекте процессы ветвления наиболее полно на сегодняшний день изучены ботаникой. Разнообразие ветвящихся и разветвленных структур в растительном мире весьма велико.

Ветвление — одна из принципиально важных особенностей большинства растительных организмов. Благодаря ветвлению растение увеличивает поверхность соприкосновения с окружающей средой. Разные формы ветвления дают возможность растениям: 1) перемещать поглощающую поверхность тела в соответствии с интенсивностью света и с градиентом концентрации тех или иных веществ; 2) поглощать из данного объема среды максимальное количество необходимых веществ. В большинстве случаев именно посредством ветвления строится вегетативное тело растений, его жизненная форма. Не будет преувеличением сказать, что общая картина растительного мира приобретает характерные черты благодаря ветвлению растений.

Ветвление у растений в большинстве случаев сосредоточено в локальных очагах. У многоклеточных организмов (а их среди ветвящихся растений большинство) образование новых метамеров¹ связано с очагами деления клеток. Наиболее примитивным следует, видимо, считать диффузный рост, при котором клеточные деления не локализованы пространственно, делиться



может каждая клетка растения самостоятельно. Развитие метамерных систем приводит к возникновению структуры, которая является пространственной и может быть обозначена как "морфологическая модель метамерной системы". Модель такой системы отражает классификацию типов ветвления (рис. 67), которую можно использовать и при анализе архитектурных систем [38].

Наиболее широко распространены морфологические модели "сучок" и "вилка". "Сучок" возникает в результате бокового заложения производного метамера. Системы такого типа имеют главную ось, что обеспечивает хорошую механическую опору и способность достаточно длительно расти в определенном направлении. "Вилка" может возникать тремя разными способами, два из которых связаны с боковым заложением ветвей.

В пространственных системах разветвление типа "вилка" (Y) позволяет равномерно заполнить объем при развитии относительно большой поверхности соприкосновения с внешней средой и с сохранением растущих верхушек приблизительно на одинаковом расстоянии от основания системы. В ряде случаев модель "вилка" возникает на наиболее мелких конечных вет-

1 Метмер — расчленение тела (греч.).

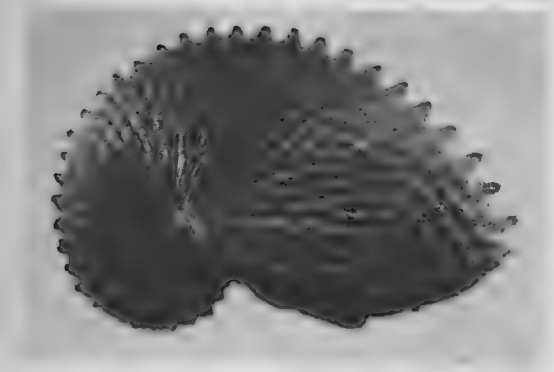


Рис. 69. Ветвление скульптурных элементов поверхности раковины

вах системы, а боковое ветвление с преобладающей главной осью наблюдается в более мощных частях тела растения. Создается впечатление, что многие растения формируют системы типа "сучок" с преобладанием главной оси, пока размеры и мощность ветвей не уменьшаются до, какого-то минимального предела, после чего система один или несколько раз разветвляется дихотомически (вильчато), и на этом ветвление прекращается.

"Розетка" — мало распространенная модель, встречающаяся у водорослей, лишайников и др.

В модели "мутовка" все ветви занимают более или менее одинаковое положение по отношению к производящему метамеру и друг к другу, поэтому возможности для возникновения различий между боковыми метамерами в пределах одного узла минимальны.

В случае модели "пучок" несколько метамеров развивается из производящего метамера так, что их основания сильно сближены, а угловое расстояние между производными метамерами невелико; таким образом, производные метамеры располагаются на производящем в виде пучка, обращенного в одну сторону. Эта модель встречается не часто. Она создает возможность для дифференциации метамеров по форме и функции.

Формы ветвления широко распространены и в животном мире. Скелет животных, по существу, представляет собой ветвящуюся конструктивную систему.

Особое значение начинают приобретать принципы ветвления в градостроительстве в связи с необходимостью проектирования движущихся потоков: пешеходов, автотранспорта, метро, троллейбусов и т.д. Можно проследить и историческую тенденцию ветвления в развитии старых городов, в том числе и Москвы (рис. 68).

В решении проблем движения потоков в городе из закономерностей ветвления природных объектов можно заимствовать:

виды и формы ветвления, включая пространственное ветвление;

оптимальную плотность ветвления с точки зрения распределения и затрат энергии;

оптимальную интенсивность ветвления в направлении от центров к периферии;

оптимальную единичную и суммарную скорость движения потоков в зависимости от узлов ветвления.

Ветвящиеся процессы в некоторых системах тесно переплетаются со спиральными. Например, раковины моллюсков часто скульптурированы спиральными выступами, которые ветвятся (рис. 69).

ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Общие сведения об истории золотого сечения. Вопросы гармонии, эстетики, стандартизации и технологии в архитектуре тесно связаны с поиском рациональных в функциональном и морфологическом отношениях количественных мер.

Интуитивное представление о существовании таких мер свойственно каждому человеку со времен зарождения цивилизации. В колоссальном многообразии форм живой природы обнаруживаются и четкие ритмы и аритмия, симметрия и асимметрия, непрерывность и дискретность, статика и динамика. Наряду с закономерными конфигурациями объектов наблюдаются случайные, хаотические формы. И вместе с тем разве не поразителен тот факт, что во всем фантастическом обилии "произведений" природы проявляются два по крайней мере руководящих морфологических принципа — принцип спирализации и принцип ветвления. Эти принципы порождают ритмы и пропорции природных образований, явлений, организмов и т.д., которые издавна служат источником подражания и научного анализа.

Известный советский архитектор И.В. Жолтовский говорил:

"Все основные членения живой формы всегда выражают и воплощают в себе то или иное взаимодействие этих сил (тяготения и инерции — Ю.Л.). Пропорции — наглядное выражение этого взаимодействия. Отношения частей к целому и друг к другу выражают разные моменты живого роста, разные этапы его борьбы с тяготением и инерцией, разные возрасты организма: стремительный азлет юного побега, великодушное равновесие цветения, усталость увядания, тяжесть созревшего плода. Пропорции в руках подлинного художника должны быть не мертвой математической схоластикой, а могучим средством выражения, почерпнутым из наблюдения и изучения органической материи, живой жизни" [15].

Конечно, не только из живой природы, но и из всей человеческой жизни, из общественных процессов, из технологии строительного производства, масштабов строительства вырастают соразмерности или пропорции архитектурных форм, корректируемые психологией человека своего времени.

Трудно с определенностью сказать, когда возникли первые суждения о пропорциях вообще, т.е. о гармонических математических отношениях. Интересные сведения об этом приводятся в книге "Начало греческой математики" венгерского филолога и историка математики А. Сабо, детальным образом изучившего происхождение аримологической терминологии пифагорейцев. Он считает доказанным, что все важнейшие термины учения о пропорциях имеют музыкально-теоретическое происхождение [17]. По-видимому, нет никаких сомнений, что основные сведения о пропорциях имелись в вавилонской и в индийской учености.

Исторический опыт развития искусства и естествознания показывает, что как в собственно народном творчестве, так и в лучших произведениях архитектуры и в исследованных объектах живой природы наблюдаются логически законченные, построенные на определенных законах соразмерности. Одной из наиболее интересных и, пожалуй, важнейших соразмерностей, зрительно хорошо воспринимаемых, является пропорция золотого сечения.

В количественном отношении пропорция золотого сечения выражается иррациональным числом 1,618 033 989 . . . , или, округленно с точностью до третьего знака, числом 1,618. Общепринятым обозначением ее является Φ^* — первая буква имени Фидия, выдающегося скульптора Древней Греции, по-видимо-

* Обозначение золотого сечения через Φ было предложено английскими математиками М. Барром и Шолингом в математических приложениях к книге Т. Кука "Кривые линии в жизни" (Cook T. The Curves of Life. London, 1914).

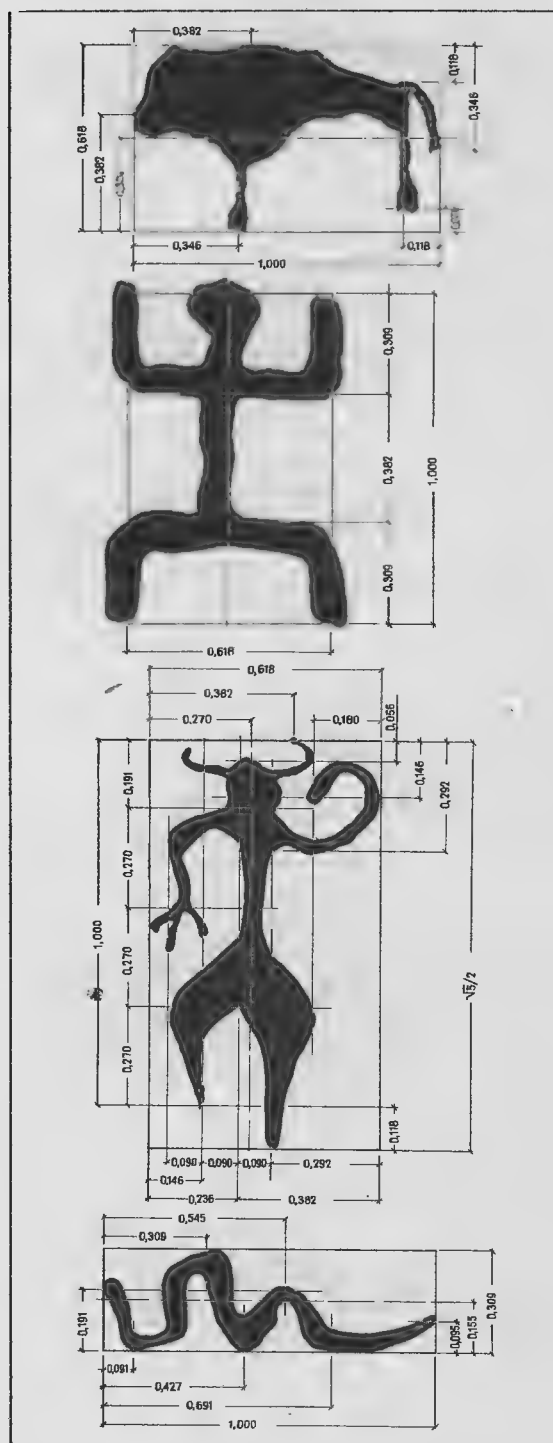
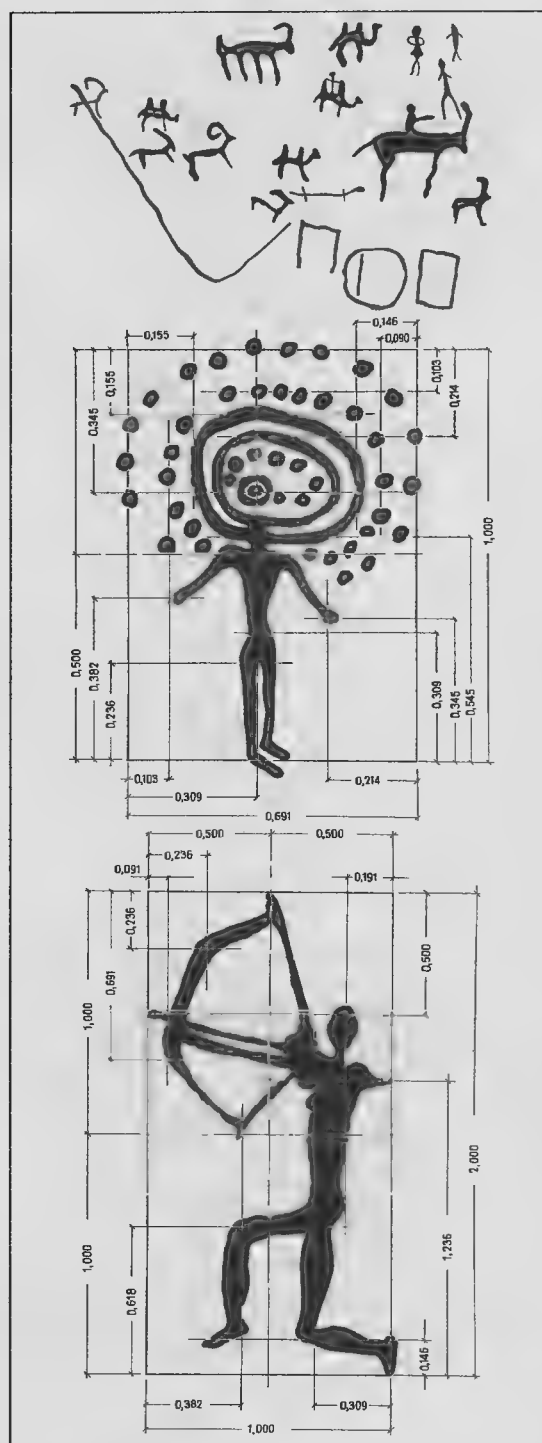


Рис. 70. Геометрический анализ наскальных рисунков [41]. 1 — первобытный бизон (поздний палеолит, XII—X вв. до н.э., горы Караунгур, сев. Прибалхашье, нат. размер 12х19,7 см); 2 — женщина (неолит, IV—III вв. до н.э., Бесовинская равнина, сев.-вост.

Прибалхашье, нат. размер 11х7,5 см); 3 — великая жрица. Деталь "Борьбы Света и Тьмы" (неолит, IV—III вв. до н.э., горы Хантау, долина р. Теректы, юго-зап. Прибалхашье, нат. размер картины 105х195 см); 4 — змея (неолит — бронзовый век, горы Хантау, юго-зап. При-



балхашье, нат. размер 5,5х17 см); 5 — фрагмент картины "Формула Бытия" (неолит — бронзовый век, горы Хантау, долина р. Теректы, юго-зап. Прибалхашье, нат. размер картины 80х220 см); 6 — солнечное божество (бронзовый век, вторая половина II в. до н.э., Чу-Илийские

горы, урочище Тамгалы, нат. размер 65х45 см); 7 — амазонка. Деталь картины "Законная охота на благородных оленей" (ранние кочевники VIII—I вв. до н.э., горы Хантау, долина р. Теректы, юго-зап. Прибалхашье, нат. размер картины 82х112 см)

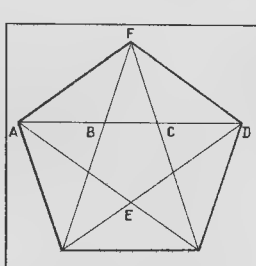
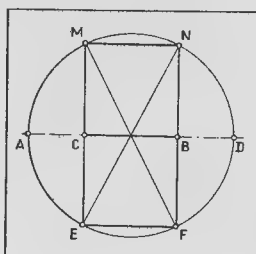
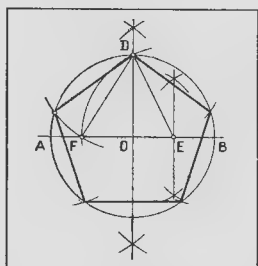
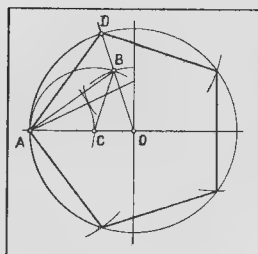
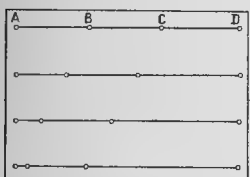
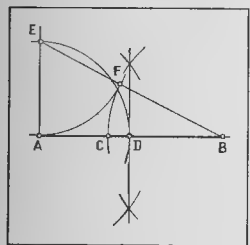
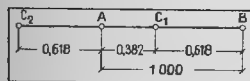


Рис. 71. Отрезок прямой, разделенной золотым сечением

Рис. 72. Схема деления отрезка прямой в среднем и крайнем отношениях

Рис. 73. Четыре примера членения отрезка AD на три части величиной вурфа $W_4 = 1,31$ (по С.В. Петухову, 1981 г.)

Рис. 74. Схема построения правильного пятиугольника по Евклиду с использованием золотого сечения (вверху) и по Птолемею (внизу)

Рис. 75. Примеры золотого сечения в геометрии: двойной квадрат, вписанный в окружность, и взаимопересекающиеся диагонали правильного пятиугольника

му, применявшего золотое сечение в своих произведениях ($\Phi = 1,618...$).

Несмотря на отсутствие сведений, есть основания полагать, что пропорция золотого сечения была известна с незапамятных времен, задолго до того, как появился сам термин "золотое сечение". Согласно [27], некоторые археологи, основываясь на изучении находок палеолитических стоянок человека, предполагают, что золотое сечение практически использовалось 20–25 тыс. лет назад. О правомерности таких предположений свидетельствуют, в частности, результаты геометрического анализа (Ю.С. Лебедев, В.Ф. Жданов) наскальных гравюр (рис. 70) безымянных художников каменного и бронзового веков [25, 27, 41].

Геометрические особенности пропорции золотого сечения, удивительные математические свойства числовых множеств, функционально связанных с числом 1,618, не раз восхищали древних геометров, художников, скульпторов. Как уже говорилось выше (см. главу о моделировании), наглядной геометрической интерпретацией пропорции золотого сечения является деление отрезка прямой на две неравные части так, чтобы большая часть была средним пропорциональным между отрезком и его меньшей частью (рис. 71, 72).

Если обозначить большую часть отрезка через a (рис. 71), меньшую через b (целое будет $a + b$), то имеем:

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} \quad \text{или} \quad 1 + \frac{b}{a} = \frac{a}{b} \quad (1)$$

Обозначив отношение $\frac{a}{b}$ через Φ , получим уравнение

$$1 + \frac{1}{\Phi} = \Phi \quad (2)$$

или $\Phi^2 - \Phi - 1 = 0$; положительный корень этого уравнения дает искомое отношение:

$$\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,618.$$

Золотое сечение — деление отрезка на неравные части, сохраняющее между частями то же отношение, что между целым и его частями (рис. 73, 81).

Впервые сведения о золотом сечении встречаются в "Началах" Евклида (III в. до н. э.). Во второй книге он дает геометрическое построение, равносильное ре-

шению квадратного уравнения (2), и затем использует его при построении правильных пяти- и десятиугольников, а также двенадцати- и двадцатигранников (рис. 74). Кстати говоря, пропорция золотого сечения реализуется в разных формах: в биквадрате, в пентаграмме, в пятиконечной звезде, которая почиталась у пифагорейцев как символ здоровья и др. (рис. 75, ВЗ, 86).

После Евклида исследованием пропорции золотого сечения занимались Гипсикл (II в. до н. э.), Папп Александрийский (III в. н. э.) и др.

В средневековой Европе с пропорцией золотого сечения познакомилась по арабским переводам "Начал" Евклида. Переводчик и комментатор Евклида Дж. Компано из Новары (XIII в.) добавил к тринадцатой главе "Начал" предложение, содержащее арифметическое доказательство несоизмеримости отрезка и обеих частей золотого сечения.

Если более или менее придерживаться событий, связанных с проблемой золотого сечения, в их хронологическом порядке, то нельзя обойти молчанием сочинение "Liber abacci" ("Книга об абаке")¹, написанное в 1202 г. знаменитым итальянским математиком Леонардо из Пизы (около 1170–1250), который известен больше по своему прозвищу Фибоначчи (т.е. сын доброй природы). Эта книга представляет собой объемный труд, содержащий почти все арифметические и алгебраические сведения того времени. Она сыграла заметную роль в развитии математики в Западной Европе в течение последующих столетий; именно благодаря этой книге европейцы познакомились с индусскими ("арабскими") цифрами. Одна из задач в дошедшем до нас втором варианте книги (1228) привела к открытию математического ряда чисел со свойствами золотого сечения. В честь автора этой задачи ряд этих чисел был назван рядом Фибоначчи.

Знаменитая задача формулируется следующим образом:

"Некто поместил пару кроликов в некоем месте, огороженном со всех сторон стеной, чтобы узнать, сколько пар кроликов родится при этом в течение года, если природа кроликов такова, что через месяц пара кроликов производит на свет другую пару, а рождают кролики со второго месяца после своего рождения. Так как первая пара в первом месяце дает потомство, удвой, и в этом месяце окажутся 2 пары; из них одна па-

¹ Абак — счетная доска.

ра, а именно первая, рождает и в следующем месяце, так что во втором месяце оказывается 3 пары; из них в следующем месяце 2 пары будут давать потомство так, что в третьем месяце родятся еще 2 пары кроликов, и число пар кроликов в этом месяце достигнет 5; из них в этом же месяце будут давать потомство 3 пары, и число пар кроликов в четвертом месяце достигнет 8; из них 5 пар произведут другие 5 пар, которые, сложенные с 8 парами, дадут в пятом месяце 13 пар; из них 5 пар, рожденных в этом месяце, не дадут в том же месяце потомства, а остальные 8 пар рожают, так что в шестом месяце оказывается 21 пара... и т.д. [18].

В итоге из этих чисел можно составить ряд:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, ...

Одно из интересных свойств этого ряда заключается в том, что каждый член ряда равен сумме двух предыдущих.

Золотое сечение является пределом отношения двух соседних чисел ряда Фибоначчи; этот предел вычисляется тем точнее, чем дальше отстоят эти числа от начала последовательности. Так, например, $3:5 = 0,600 \dots$, $5:8 = 0,625 \dots$, $21:34 = 0,6176 \dots$, $55:89 = 0,61818 \dots$, $233:377 = 0,618037 \dots$ и т.д.

В XV—XVI вв. усилился интерес к пропорции золотого сечения среди ученых и художников в связи с его применением как в геометрии, так и в искусстве, особенно в архитектуре.

В 1496–1499 гг. итальянский математик Лука Пачиоли под влиянием взглядов своего друга Леонардо да Винчи посвятил пропорции золотого сечения восторженную книгу "О божественной пропорции"¹, вышедшую в 1509 г. Леонардо да Винчи выполнил и гравюры для книги Пачиоли и ввел самый термин "золотое сечение" — "Sectio aurea".

Гениальный немецкий художник эпохи Возрождения Альбрехт Дюрер с 1500 г. работал над воплощением гармонического образа человека, построенного на изучении классических образцов. В то же время Дюрер приступил к научному изучению человеческого тела, стремясь найти идеальные пропорции и на их основе построить совершенную фигуру. В период 1500–1504 гг. он выполнил ряд рисунков обнаженной человеческой фигуры. Осенью 1506 г. А. Дюрер отправился из Венеции в Болонью, где жил Пачиоли, чтобы быть посвященным в законы "тайной перспективы" [19]. Итог этой работы он подвел в своих известных трех изданиях — "Книга о пропорциях", над которыми работал более десяти лет, начиная с 1515 г. К научным поисковым такого рода рисункам Дюрера близка гравюра на меди "Адам и Ева" (1504 г.) [20].

О золотом сечении писал в одном из своих ранних произведений И. Кеплер (1596 г.): Он первым упомянул о значении золотого сечения в ботанике, говоря о нем, как о "бесценном сокровище, как об одном из двух сокровищ геометрии", именую его "Sectio divina" — "божественное сечение" ("второе сокровище" геометрии — теорема Пифагора).

Кеплер был последним апологетом тайных качеств божественной пропорции, воспетой им на музыкальном латинском языке. Затем золотое сечение было предано забвению, и в течение более 200 лет никто о нем не вспоминал. В 1850 г. немец А. Цейзинг открыл его снова. В своих "Aesthetische Forschungen" ("Эстетические исследования"), напечатанных в 1855 г., он говорит:

"Для того чтобы целое, разделенное на две неравные части, казалось прекрасным с точки зрения формы, между меньшей и большей частями должно быть то же отношение, что и между большей частью и целым" [19].

Он называет это законом пропорций и утверждает, что этот закон проявляется в пропорциях человечес-

кого тела и в теле тех животных, формы которых отличаются изяществом; он также видит этот закон и в некоторых эллинских храмах (в частности, в Парфеноне), в ботанике и в музыке.

Г.Е. Тиммердинг, не являясь фанатичным поклонником золотого сечения, опубликовал небольшую брошюру под названием "Der goldene Schnitt" ("Золотое сечение"), в которой отмечает, как пишет об этом М. Гика, что применение этого пропорционального соотношения (на примере пропорционирования прямоугольника) "... глубоко внедрилось в наше сознание, так как формат большинства книг, листов бумаги, плиток шоколада, открыток и пр. — не что иное, как прямоугольник Ф" [21].

М. Гика, раскрывая этот вопрос, далее пишет, что Цейзинг "... как нам кажется, первым отметил, что золотое сечение служит модулем фасада Парфенона, а также профиля большинства птичьих яиц, не только благодаря отношению между большой и малой осями, но также и вследствие положения последней".

Наконец, в ботанике он (Цейзинг — Ю.Л.) открыл "закон углов", согласно которому угловые расхождения ветвей соответствуют делению человеческого тела через точку пупка по принципу Ф. Это значит, что средняя величина углового отклонения $\alpha = 137^\circ 30' 28''$, из чего следует:

$$\alpha / (360^\circ - \alpha) = (360^\circ - \alpha) / 360^\circ.$$

Если принять $360^\circ - \alpha = \beta$, то это равноценно

$$\alpha / \beta = \beta / (\alpha + \beta).$$

И далее: "... небезинтересно отметить, что задним числом было найдено логическое объяснение наличию золотого сечения в ботанике. Если вычислить, какой постоянный угол должны образовывать листья или ветви растения (расположенные вдоль стебля или ствола восходящими спиралями), чтобы получить наибольшее количество вертикально падающего света (так, чтобы их горизонтальная проекция никогда не покрывалась целиком), то метематическим решением этой проблемы является угол, равный $137^\circ 30' 28''$ ". Изучая проблему классификации листьев, Черч открыл вышеуказанное практическое объяснение (математически подтвержденное профессором Визнером в 1875 г.) и дал выражению $\alpha = 360^\circ / \phi^2 = 137^\circ 30'$ наименование "идеального угла".

Вернемся к Тиммердингу. Он приводит в своей книге также сведения об основателе психофизики — Г.Т. Фехнере, который в 1876 г. произвел ряд "эстетически-статистических" опытов и просил многих людей выбрать среди различных прямоугольников (включая квадрат) такую форму, которая им больше всего нравится. Подавляющим большинством был выбран прямоугольник с модулем Ф (рис. 76).

В XX в. приоритет в дальнейших разработках золотого сечения, пожалуй, принадлежит Т. Куку, Д. Хэмбиджу, Е. Месселю, Ле Корбюзю и И.В. Жолтовскому, но прежде — о каноне пропорций человеческой фигуры.

Исследования пропорций человека представляют собой не только естественно-научный и познавательный искусствоведческий интерес, но и служат фундаментальной основой для решения ряда прикладных задач архитектуры, строительства, эргономики, робототехники, протезирования, спорта и др. В архитектурно-бионическом аспекте актуальность этих исследований определяется основными тенденциями развития архитектурной теории и практики, связанными с разработкой проблем эстетики, гармонии и стандартизации архитектурной среды.

Канонизация (от греч. канон — правило) пропорций человеческой фигуры, или, иначе говоря, построение ее математической (геометрической) модели, является, пожалуй, одним из наиболее древних актов творчества человека (рис. 77).

Первый из известных к настоящему времени канон был разработан художниками Древнего Египта [20]. Согласно этому канону, основанному на детальнейших измерениях частей человеческого тела, фигуры

¹ Paciolo Fra Luca. De divina proportione. Venezia, 1509.

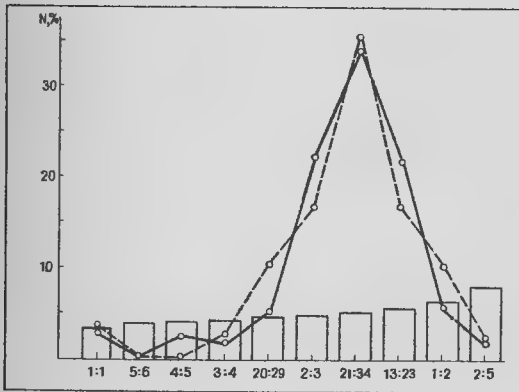


Рис. 76. Результаты психологических опытов Г. Фехнера по эстетическому восприятию золотого сечения. По оси ординат — процент случаев эстетического предпочтения; пунктирная кривая — женщины, сплошная — мужчины

взрослых мужчин и женщин, а также детей строились по единой схеме. Разница в росте, а также в позах определялась не пропорциями, а социальным положением изображаемых людей. Пропорциональное соотношение неодушевленных предметов по сравнению с человеческой фигурой в расчет вообще не принималось.

Следующий этап канонизации геометрически упорядоченного образа человека связан с работами художников и скульпторов Древней Греции, для которых сущность прекрасного заключалась в стройном порядке, симметрии и гармоничном сочетании целого и его частей. Античный канон известен по сочинению скульптора Поликлета о пропорциях человеческого тела, написанному им в 432 г. до н. э., и по статуе "Дорифор", созданной им же для иллюстрации этих пропорций, а также служившей моделью для рисования.

В отличие от древнеегипетской модульной системы в античном каноне рост человека "брался как целое, как единица, потом фиксировалась отдельная часть тела как таковая, какова бы она ни была по своим размерам, и уже только после этого фиксировалось отношение каждой такой части к целому" [22]. Согласно этому канону, морфометрическая характеристика человеческого тела определялась в основном следующими позициями: высота головы составляет седьмую часть от высоты фигуры человека среднего роста, восьмую — высокого роста, шестую — низкого роста; торс по высоте делится на три части, равные высоте головы; от подбородка до сосков, от сосков до пупка, от пупка до нижнего края лобкового сочленения; высота бедра, а также голени со ступней равны двум размерам головы.

Витрувий в своем знаменитом трактате об архитектуре, разъясняя устройство храмов, приводит следующее наблюдение: "... природа сложила человеческое тело так, что лицо от подбородка до верхней линии лба и начала корней волос составляет десятую долю тела, так же как и вытянутая кисть от запястья до конца среднего пальца; голова от подбородка до темени — восьмую, и вместе с шеей, начиная с ее основания от верха груди до начала корней волос, — шестую, а от середины груди до темени — четвертую... Ступня составляет шестую часть длины тела, локтевая часть руки — четверть и грудь — тоже четверть. У остальных частей есть также своя соразмерность, которую тоже в расчет принимали древние живописцы и ваятели..." [23].

Одной из важнейших операций в познании явлений или объектов природы для античных ученых была опе-

рация нахождения середины, центра (центра симметрии, центра тяжести, равновесия и др.) человеческого тела. Естественным центром человеческого тела, по Витрувию, является пупок: "Ибо, если положить человека навзничь с распростертыми руками и ногами и приставить ножку циркуля к его пупку, то при описании окружности линия ее коснется пальцев обеих рук и ног. Точно так же, как из тела может быть получено очертание окружности, из него можно образовать и фигуру квадрата. Ибо если измерить расстояние от подошвы ног до темени и приложить ту же меру к распростертым рукам, то получится одинаковая ширина и длина, так же как на правильных квадратных площадках".

Многие исследователи считают, в частности, что вышеприведенный отрывок из трактата Витрувия послужил основой для широко известного схематического рисунка пропорций человеческого тела, выполненного Леонардо да Винчи и воспроизведенного в переизданиях Витрувия, вышедших в 1511 и 1521 гг. Леонардо да Винчи в одной из своих записных книжек, интерпретируя Витрувия, отмечает: "Если вы раздвинете ноги так широко, что ваш рост уменьшится на $1/14$, и разведете в сторону поднятые руки так, что средние пальцы окажутся на уровне макушки, то, да будет вам известно, центр распростертых конечностей окажется в пупке, а пространство, ограниченное ногами, будет равносторонним треугольником" [24].

Анализируя литературные данные, нетрудно убедиться в том, что и в античные времена, и в эпоху Возрождения разработка канонов человеческой фигуры велась в основном в направлении выявления жестко детерминированной схемы пропорций тела взрослого человека. Согласно имеющимся исследованиям, отношение между частями фигуры в "Каноне" Поликлета выражаются сложными дробями и даже иррациональными числами. Вместе с тем для практики архитектуры и искусства требовались удобные, легко запоминаемые модели, морфометрические характеристики которых задавались бы более простыми соотношениями. Упрощения были неизбежны. Этим, по-видимому, объясняется преобладание в античных моделях фигуры человека пропорциональных соотношений, получающихся за счет операций деления единичного отрезка пополам, на три части, на четыре части и т.п.

Различные модификации этих моделей, относящиеся к XVIII и началу XIX вв., не внесли каких-либо существенных изменений в их геометрическую структуру. Прогресс в изучении рассматриваемой проблемы наметился лишь в середине XIX в. благодаря трудам А. Цейзинга, который, используя аппарат математической статистики (в те времена еще далеко не совершенный) для обработки данных измерений, сделал акцент на изучении динамики возрастных изменений основополагающей пропорции человеческой фигуры, вытекающей из античного канона, а именно пропорции, характеризующей вертикальное членение тела на два блока, линейные размеры которых определяются, соответственно, расстоянием от макушки головы до пупка и расстоянием от пупка до подошвы ступней ног.

Измерив несколько тысяч человеческих тел, А. Цейзинг пришел к выводу, который вполне согласуется с современными представлениями о возрастных изменениях морфометрических показателей тела человека. Им было показано, что соотношение между длиной тела и вертикальным расстоянием между пупком и по-

¹ Геометрический анализ рисунка Леонардо да Винчи, выполненный в лаборатории архитектурной бионики ЦНИИТИА (Ю.С. Лебедев, В.Ф. Жданов), показал, что в пределах инструментальной погрешности соотношение по высоте между частями фигуры человека относительно ее центра (пупка) есть золотое сечение; кроме того, относительные размеры других частей фигуры удовлетворительно согласуются с современными антропометрическими данными, которые будут приведены далее в тексте.

дошвой ног человека¹ (табл. 1) в процессе роста его изменяется в интервале значений 2,00–1,62, причем приращение скорости изменения данного соотношения постепенно уменьшается вплоть до нуля, начиная с момента рождения человека до стадии зрелости (20–21 год).

Таблица 1. Соотношение между высотой тела и вертикальным расстоянием между пупком и подошвой ног человека в различном возрасте (по Цейзингу)

Возраст, лет	Высота тела, м	Соотношение
0	0,485	2,00
1	—	1,90
2	0,863	1,84
3	—	1,79
4	—	1,75
5	—	1,70
6	—	1,68
7	—	1,67
8	—	1,65
9	—	1,64
10	—	1,64
11	—	1,63
12	—	1,63
13	—	1,625
17	—	1,590
21	1,731	1,625

Такое поведение временной последовательности данных означает, что существует либо асимптотическое, либо экстремальное значение рассматриваемой характеристики, равное или приблизительно равное золотому сечению (1,618...). С целью проверки и уточнения закономерности изменения пропорции, изучавшейся Цейзингом, и других пропорциональных соотношений, существенных в аспекте построения геометрической модели человеческой фигуры, нами (Ю.С. Лебедев, В.Ф. Жданов) были проведены обширные морфометрические исследования, которые включали в себя статистический анализ литературных антропометрических данных и экспериментальные измерения морфометрических характеристик людей различного возраста (табл. 2, 3).

Таблица 3. Статистические данные измерений параметра λ/H^* (в возрасте 20–80 лет)

Возраст, лет	М			Ж			М + Ж		
	Оценка параметра, отн. ед.	Коэффициент вариации, %	Объем выборки	Оценка параметра, отн. ед.	Коэффициент вариации, %	Объем выборки	Оценка параметра, отн. ед.	Коэффициент вариации, %	Объем выборки
20–29	0,595±0,015	2,5	13	0,590±0,017	2,9	21	0,592±0,016	2,7	34
30–39	0,597±0,016	2,7	15	0,592±0,014	2,4	21	0,594±0,015	2,5	36
40–49	0,590±0,023	3,9	24	0,583±0,018	3,1	20	0,587±0,019	3,3	44
50–59	0,590±0,020	3,4	28	0,571±0,016	2,8	24	0,581±0,017	3,0	52
60–69	0,591±0,023	3,9	11	0,570±0,020	3,5	23	0,577±0,019	3,6	34
70–79	0,571±0,020	3,5	14	0,568±0,020	3,5	13	0,570±0,020	3,5	27
105				122			227		

* h/H , где H — рост человека (расстояние от макушки головы до ступней ног); h — расстояние от пупка до ступней ног.
М — мужской пол; Ж — женский пол.

Известно, что кинематические схемы строения тела высокоорганизованных животных, в том числе и человека, во многом основаны на принципе трехчленения.

¹ А. Цейзинг, по нашему мнению, делает ошибку, различая пропорции мужского и женского тела. Он отмечает, что исследованная им пропорция мужского тела в период зрелости равна 1,625 и несколько ближе подходит к золотому сечению, чем аналогичная пропорция женского тела, равная 1,600. Расхождение этих оценок вполне можно объяснить, если учесть отсутствия возможности унифицировать измерения, не говоря уже о существовании онтогенетических флуктуаций, приводящих к разбросу значений измеряемого признака.

Например, тело человека характеризуется следующими трехчленными системами: трехчленистое тело (в антропологии различают верхний отрезок — от макушки головы до основания шеи; средний отрезок или туловище — от основания шеи до тазобедренного сочленения; нижний отрезок — от тазобедренного сочленения до конца пальцев ног); трехчленистые ноги (бедро — голень — стопа) и руки (плечо — предплечье — кисть), а также трехфаланговые пальцы рук и ног [27].

Адекватным инструментом геометрического описания трехчленных систем служит, как это уже отмечалось, вурф¹. Между тем в большинстве литературных источников по анатомо-физиологии человека и животных, а также в искусствоведческой литературе обычно

Таблица 2. Оценка средних значений параметра h/λ^* (в возрасте 1–26 лет)

Возраст, лет	М		Ж		М + Ж	
	Среднее значение параметра λ , отн. ед.	Объем выборки	Среднее значение параметра λ , отн. ед.	Объем выборки	Среднее значение параметра λ , отн. ед.	Объем выборки
1–2	0,511	7	0,497	4	0,506	11
2–3	0,509	25	0,520	34	0,515	59
3–4	0,531	21	0,522	19	0,527	40
4–5	0,564	23	0,561	18	0,562	41
5–6	0,561	35	0,567	27	0,564	62
6–7	0,579	44	0,581	44	0,580	88
7–8	—	—	—	—	—	—
8–9	0,550	152	0,553	119	0,552	271
9–10	—	—	—	—	—	—
10–11	0,551	99	0,557	108	0,554	207
11–12	0,534	23	0,544	24	0,539	47
12–13	0,574	89	0,579	87	0,576	176
13–14	0,573	33	0,576	37	0,575	70
14–15	0,563	75	0,577	103	0,571	178
15–16	—	—	0,814	6	—	—
16–17	—	—	0,607	5	—	—
20–21	0,602	56	—	—	—	—
21–22	0,599	428	—	—	—	—
22–23	0,598	244	—	—	—	—
25–26	0,598	86	—	—	—	—

рассматриваются афинные (или простые) отношения между частями тела. Вследствие этого направление морфометрических исследований акцентировалось в основном на изучении двухчленных кинематических блоков человеческого тела. Результаты этих исследований представлены в табл. 4 и 5, на рис. 84.

Статистический анализ антропометрических литературных данных показал, что существуют два типа морфометрических характеристик. К первому типу относятся пропорции, которые характеризуются постоян-

¹ Производные золотого сечения на только двухчастных, но и бовьшого порядка отношений (трах-, четырех-, пяти- и т.д.).

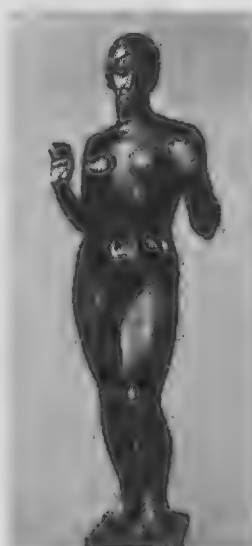


Рис. 77. Венера Таврическая (III в. до н.э.), Ева, О.Роден (≈ 1881 г.), Венера, А.Майоль (1926 г.)

Таблица 4. Морфометрические характеристики различных частей тела человека

Характеристика	Оценка, отн. ед.	Коэффициент вариации, %	Максимальное, минимальное значение, отн. ед.	Формула
Длина руки/высота тела	0,436±0,015	3,5	0,481—0,391	$\frac{1}{6}\varphi^2 = \frac{1}{12}(3 + \sqrt{5})$
Длина кисти руки/высота тела	0,112±0,010	8,9	0,142—0,082	$1 - \varphi^{-3} - \varphi^{-5} = \frac{1}{6}(12 - 7\varphi)$
Длина предплечья/высота тела	0,148	—	—	$\frac{1}{6}(16\varphi - 25)$
Длина плеча/высота тела	0,176	—	—	$\frac{1}{6}(14 - 8\varphi)$
Ширина плеч/высота тела	0,223±0,007	3,1	0,244—0,202	—
Ширина таза/высота тела	0,166±0,006	3,6	0,184—0,148	—
Длина стопы/высота тела	0,158±0,013	8,2	0,197—0,119	—
Длина стопы/длина ноги	0,337±0,033	9,8	0,436—0,228	—
Длина голени/длина бедра	0,825±0,020	2,4	0,885—0,765	—

Таблица 5. Изменение относительных размеров (средние значения) частей тела человека в зависимости от его возраста

Возраст, лет	Высота головы, отн. ед.		Длина ноги, отн. ед.	
	эмпирические	теоретические	эмпирические	теоретические
0,25	0,330	0,309	0,330	0,363
0,50	0,260	0,266	0,365	0,387
0,75	0,230	0,245	0,404	0,401
Рождение				
1	0,220	0,232	—	0,412
2	0,200	0,202	0,447	0,438
3	0,190	0,186	0,456	0,454
4	0,180	0,176	0,468	0,467
5	0,170	0,168	—	0,476
6	0,160	0,162	0,488	0,484
7	0,160	0,157	—	0,490
8	0,160	0,153	0,500	0,496
9	0,160	0,149	—	0,502
10	0,150	0,146	0,508	0,507
11	0,150	0,143	—	0,511
12	0,145	0,141	0,521	0,515
13	0,140	0,139	—	0,518
14	0,135	0,137	0,530	0,522
15	0,130	0,136	0,487	0,525
16	0,130	0,133	0,522	0,528
17	0,130	0,131	—	0,531
18	—	0,130	0,517	0,534
19	—	0,120	—	0,537
20	0,125	0,127	0,523	0,539

ными, не зависящими от возраста человека величинами; ко второму типу относятся так называемые динамические пропорции, которые закономерно изменяются в процессе роста и развития человека, достигая экстремальных своих значений в период его зрелости [26].

Морфометрические характеристики различных частей тела человека, относящиеся к первому типу, представлены в табл. 4. Линейные размеры руки, кисти руки, предплечья, плеча, таза, ступней ног относительно высоты тела являются постоянными величинами, коэффициент вариации которых не превышает 5—10%. Причем наиболее переменными такие морфометрические характеристики, как соотношение между длиной кисти рук и высотой тела (коэффициент вариации ±8,9%) и соотношение между длиной стопы ноги и высотой тела (коэффициент вариации ±8,2%).

Вурф трехчленного блока руки, вычисленный с использованием данных табл. 4, равен 1,305. Этот результат хорошо согласуется с данными по определению вурфа сегментов скелета конечностей человека; среднее арифметическое значение его равно $1,33 \pm 1,5\%$ и всего лишь не 0,3% отличается от золотого вурфа ($\varphi^2/2 \approx 1,309...$).

Второй тип морфометрических характеристик представлен в табл. 5 следующими соотношениями: высота головы/высота тела и длина ноги/высота тела. Согласно данным, с увеличением возраста человека от момен-

та его рождения до достижения зрелости относительный размер его головы уменьшается от 0,220 до 0,125, в то время как относительный размер ноги увеличивается за тот же период развития приблизительно от 0,420 до 0,523. Возрастные изменения этих морфометрических характеристик еще более ощутимы при учете их значений, относящихся к эмбриональной стадии развития человека. В этом случае пропорциональное соотношение между высотой головы и высотой тела изменяется в 2,6 раза, а соотношение между длиной ноги и высотой тела — приблизительно в 1,5 раза.

Отсюда можно сделать вывод, что соотношение высоты головы к высоте тела является наиболее изменчивой морфометрической характеристикой человеческой фигуры.

Временные последовательности эмпирических данных динамических пропорций, приведенные в табл. 5, удовлетворительно аппроксимируются следующими функциями:

$$h_{\tau} = \frac{1}{3} (\varphi - 1)^2 \left(\frac{\tau_{max}}{\tau} \right)^{0,2},$$

$$f_{\tau} = \frac{1}{3} \varphi \left(\frac{\tau}{\tau_{max}} \right)^{0,09},$$

где h_{τ} — пропорциональное соотношение между высотой головы и высотой тела; f_{τ} — пропорциональное соотношение между длиной ноги и высотой тела; τ — возраст человека в стадии его роста и развития; τ_{max} — максимальный возраст человека на заключительной стадии его роста; $\varphi = 1,618 \dots$

Вышеприведенные формулы использовались для расчета теоретических значений временных последовательностей, соответствующих морфометрическим характеристикам h_{τ} и f_{τ} . При этом принималось $\tau_{max} \approx 20$ лет. Согласно расчетам, различие между эмпирическими данными и теоретическими значениями функции h_{τ} составляет в среднем $\pm 0,6\%$ (при высоте головы 22 см это соответствует $\pm 1,3$ мм, что соотносимо с инструментальной ошибкой измерения¹⁾), а для функции f_{τ} $\pm 1,1\%$ (при длине ноги 85 см это соответствует $\pm 9,3$ мм, что соотносимо с инструментальными и методическими ошибками измерений).

В период зрелости ($\tau_{max} = 20$ лет) функции h_{τ} и f_{τ} принимают экстремальные значения:

$$h_0 = \frac{1}{3} (\varphi - 1)^2 = \frac{3 - \sqrt{5}}{6} \approx 0,127;$$

$$f_0 = \frac{1}{3} \varphi \approx 0,539.$$

Имея в виду то, что величина вурфов трехчленных кинематических блоков человеческого тела равна зопотому вурфу [27], а также используя данные соотношений, можно вычислить относительный размер туловища человека в зрелом возрасте. Насложные вычисления показывают, что отношение размера туловища к высоте тела в указанный период развития человека равно 0,293, что удовлетворительно согласуется с результатами отдельных исследований, которые приводятся в работе [26].

Необходимо отметить, что на первый взгляд введение золотого сечения в вышеприведенные соотношения и соответствующая формализация пропорций человеческого тела выглядят несколько искусственно. Аналогичная формализация, основанная на применении золотого сечения, может быть проведена и для постоян-

ных пропорциональных соотношений, приведенных в табл. 2 (в этом случае числовые значения, полученные по формулам, приведенным в табл. 2, отличаются от соответствующих эмпирических оценок не более, чем на $\pm 2,5\%$). Между тем, учитывая распространенность симметрии 5-го порядка в живой природе и связь этого вида симметрии с золотым сечением, можно выдвинуть гипотезу о существовании некоторой единой динамической модели взаимосвязанных и взаимобусловленных соотношений в строении человеческого тела.

Однако существующие методы определения золотых пропорций весьма проблематичны. Об этом говорит и Г.Б. Борисовский:

"Когда мы рассматриваем фигуру обнаженного человека, то сравниваем между собой части его тела. Если у него слишком длинные ноги, мы называем его длинноногим. Если ноги слишком коротки, — коротконогим. Большеголовый — когда голова чрезмерно велика. Пропорционально сложенный, — говорим мы о человеке, у которого части тела находятся в гармонии.

Но никто и никогда не станет говорить о пропорциях фигуры, сопоставляя, к примеру, расстояние от плеч до груди с расстоянием от груди до затылка. Или соотнося расстояния от плеч до пупка и от последнего до затылка. Никто не станет искать пропорции человеческого тела таким образом.

Никто, кроме специалистов по пропорциям. Они сопоставляют лишь то, что наиболее хорошо укладывается в их систему пропорций. Если, к примеру, ножки пропорционального циркуля попали на пупок Венеры Милосской или на соски ее груди, то уже хорошо. Необходимо заключить это великолепное мраморное тело в решетку заданной пропорциональной схемы. А как она разместится в этой клетке, не столь уже это существенно. Важно, чтобы пропорциональная решетка была та самая, в которую верит наш исследователь ...

Происходит это по той же причине — неумное желание насадить всюду свой порядок" [40].

Согласно античным канонам, голова человека по высоте делится на две равные части так, что линия деления совпадает с линией разреза глаз, пересекая шов скуловой и височной костей, переносицу и др. Лицевая часть по высоте делится на три равные части: от начала волос до надбровных дуг, от надбровных дуг до нижнего основания носа и от основания носа до подбородка. Расстояние от надбровных дуг до нижнего основания носа, так же как и расстояние между основанием носа и нижним краем подбородка, делится, в свою очередь, тоже на три части. В первом случае это части, соответствующие расстояниям от надбровных дуг до разреза глаз, от разреза глаз до верхнего края крыльев носа и от верхнего края крыльев носа до его основания; во втором случае это расстояния от нижнего основания носа до разреза рта, от разреза рта до углубления между нижней губой и подбородком и между этим углублением и нижним краем подбородка. Расстояние между слезниками равно длине разреза одного глаза. Уши по высоте располагаются между линией надбровных дуг и линией нижнего основания носа.

В современных методических пособиях по рисованию часто приводится ставший классическим рисунок А. Дюрера, изображающий объемно-конструктивное строение головы человека. То, что А. Дюрер в этом рисунке использует античный алгоритм построения головы и ее частей, не вызывает сомнения. То же самое относится и к анатомическим рисункам Леонардо да Винчи, рисункам Гольбейна и других художников эпохи Возрождения.

Несколько иные геометрические модели головы использовали русские художники XVII—XVIII вв. Так, в одном из наиболее древних на Руси учебных руководств по живописи "Иерусалимской рукописи" (1566) под названием "Ерминия" рекомендуется следующий метод построения фигуры и головы человека: "Ученик! Когда ты хочешь делать рисунок человека, то сперва раздели место для него на семь равней, или голов, и первый ровень раздели на четыре части. В первой нерисуй волосы, во второй чело, в третьей нос, в четвертой бороду. Потом возьми половину меры носа и начерти один глаз в шир-

¹ Инструментальная погрешность измерений весьма мала и обычно не превосходит по абсолютной величине 0,5% измеренной морфометрической характеристики. Значительно увеличивают погрешность измерений могут методические ошибки, обусловленные в основном правилом выбора точек отсчета измеряемого параметра.

шей части лица, зречок же ставь не в середине глаза, но немного поближе к уху; после чего циркулем возьми меру носа и, уставив один конец циркуля в зрачок большого глаза, поведи его на противоположную часть лица, и тут означь другой зрачок, и окружи другой глаз в суженной части лица, но сделай его немного круглее и меньше первого глаза, да немного ниже" [20].

В другой рукописи, составленной иеромонахом и живописцем Дионисием Фурнаграфиотом (1701–1733) под названием "Ерминия, или Наставления о живописном искусстве" дается следующая рекомендация:

"Раздели первую часть на три: поб, нос и борода, волосы делай сверх меры, длину соразмерно носу. Пространство между бородою и носом также дели на три части: подбородок — две части, рот — одна, а горло равно носу" [20].

Модуль Ле Корбюзье. Архитекторы, использующие в своей деятельности бионические принципы и методы исследования, моделирования будут правы, если назовут творчество выдающегося французского архитектора Ле Корбюзье одной из прадтеч архитектурной бионики.

Известно, что в детстве Ле Корбюзье под руководством опытного педагога изучал природу, а в пору юности имел возможность познакомиться с творениями мастеров эпохи Возрождения. Позже он выразил свое мировоззрение, ставшее лейтмотивом всей его жизни, в следующих словах: "Цветок, растение, дерево, гора тянутся вверх, живя в своей среде. Их облик привлекает к себе внимание своим подлинным величием и выразительностью. Мы останавливаемся, ощутив взаимосвязь явлений в природе, с еолнием наблюдаем гармонию, которой охвачено столь большое пространство. . . Архитектура, скульптура, живопись целиком связаны с пространством, с необходимостью организовать пространство каждая своими средствами. Самое существенное здесь то, что ключом к эстетической эмоци служит восприятие пространства" [8].

В Париже Ле Корбюзье знакомится с градостроительным искусством средневековья. В 23 года, не имея систематического образования, но обладая обширными познаниями в области искусства и архитектуры, рисует фасад своего первого дома, который хочет построить. Впоследствии он претворит свою юношескую мечту, построив хижину на Лазурном берегу, проект которой набросает за завтраком (1951 г.), в течение получаса по просьбе хозяина закусочной выполнит пять проектов туристских домиков (1954 г.), по оптимальности своей планировки и объемного решения не уступающих каюте океанского лайнера . . . Но в эти годы первый его проект так и останется на бумаге, — перед ним возникает, по его словам, "мучительный, повергающий в смятение" вопрос: "Какова же та закономерность, которая все определяет, которая связывает все воедино?" Именно с этого вопроса начинается жизненный творческий поиск законов гармонии человека и окружающей его среды, приведший Ле Корбюзье к созданию Модулора, — "всеобщей гармонической системы мер, применяемой как в архитектуре, так и в механике", к разработке проекта "Музея знаний" для города Ахмадабада, строительству жилого дома в Марселе и многих других архитектурных сооружений.

В 30-летнем возрасте, начав серьезно заниматься живописью, Ле Корбюзье создает серию картин, композиция которых подчиняется определенной системе геометрического построения. С этой системы, в которой он использует два математических принципа — правило вписанного прямого угла и золотое сечение, и началась разработка Модулора, окончательный вариант которого был разработан в 1946 г.

За основу "красного ряда" Модулора принят условный рост человека, равный 1,829 м (первоначально при разработке Модулора рост человека принимался равным 1,75 м). Высота фигуры человека с поднятой рукой при этом равна 2,26 м.

Правомерность выбора этих величин вызывает у архитекторов-теоретиков некоторое сомнение. Действительно, согласно современным морфометрическим ис-

Таблица 6. Морфометрические данные и вес спортсменов¹

Спортсмены	Рост, м	Поверхность тела, м ²	Вес тела, кг
Пловцы	1,778±0,030	1,90±0,12	72,3±2,7
Футболисты	1,759±0,052	1,90±0,09	73,9±4,9
Бегуны	1,722±0,059	1,80±0,12	68,5±6,9
	1,762±0,042	1,88±0,11	72,0±4,2

следованиям, результаты которых приведены в табл. 6, среднее значение роста для нескольких групп спортсменов (пловцы, футболисты, бегуны) равно 1,762 м (коэффициент вариации равен приблизительно 2,4%). Максимальный и минимальный рост спортсменов оценивается (с учетом "правила трех сигм") величинами 1,889 и 1,636 соответственно. Аналогичные результаты получены в лаборатории архитектурной бионики ЦНИИТИА в процессе исследований пропорций человеческого фигуры. Например, рост мужчин, родившихся в Москве в период 1941–1961 гг. (т.е. в возрасте 20–40 лет по отношению к 1981 г.) составляет 1,765 м; для женщин того же возраста оценка этого параметра 1,635 м.

Из приведенных данных следует, что первоначально принятая Ле Корбюзье оценка роста человека (1,75 м) приблизительно на 0,6% меньше среднего его роста (в европейском регионе), в то время как величина 1,829 м — больше статистически среднего роста на 3,7%.

Таким образом, основа красного ряда Модулора (1,829 м) не соответствует данным морфометрических исследований и является смещенной оценкой среднего роста человека.

Одной из явных причин принятия смещенной оценки среднего роста человека в качестве основы красного ряда Модулора было то, что такая оценка, по словам Ле Корбюзье, позволяет "автоматически содействовать преодолению мучительных расхождений при пользовании метрической системой и системой фута-дюйма". Другая, более скрытая причина, на наш взгляд, относится к области психологии зрительного восприятия человеком замкнутого (или ограниченного) пространства. Очевидно не случайно Ле Корбюзье отмечает: ". . . многим ли из нас известно, что в сфере зрительных восприятий, делящихся во времени, наш цивилизация не достигла того зтапа, до которого она дошла в музыке? . . . Ничто из того, что сооружено и построено, не имеет длину, ширину или объем, до сего времени не обладает системой мер, соответствующей той, которой обладает музыка, не имеет рабочего инструмента, подобного тому, которым пользуется музыка".

Из известных разработок "красного" и "синего" рядов Модулора видно, что члены этих рядов описываются весьма простыми соотношениями:

$$a_n = k \varphi^n; \quad b_n = 2k \varphi^n,$$

где n — любое целое положительное или отрицательное, или равное нулю число; k — размерный коэффициент, принимающий положительные значения. Для ряда Модулора значение коэффициента k равно 1,13 м.

Согласно приведенным соотношениям,

$$\begin{aligned} \text{при } n=0 & \quad a_0=1,13 \text{ м}, \quad b_0=2,26 \text{ м}; \\ \text{при } n=1 & \quad a_1=1,829 \text{ м}, \quad b_1=3,657 \text{ м}; \\ \text{при } n=-1 & \quad a_{-1}=0,698 \text{ м}, \quad b_{-1}=1,397 \text{ м}; \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

В принципе, ничто не мешает вместо принятого в Модулоре значения коэффициента k использовать в соотношениях какое-либо другое положительное число и тем самым получить ту или иную модификацию ряда Фибоначчи. Найденное Ле Корбюзье и его коллегами значение $k=1,13$, возможно, является линейным своего рода психофизиологическим инвариантом тех зритель-

¹ Обработка Ю.С. Лебедевым и В.Ф. Ждановым данных, приведенных в статье Э.Г. Мартыросяна, В.П. Чтецова "Антропология и спорт". — Природа, 1976, № 7.

ных образов, которые реально существуют в окружающем человека пространстве. Если это действительно так, то открытие Ле Корбюзье выходит далеко за рамки сугубо практических архитектурных интересов. Давая оценку Модулору, выдающийся физик современности А. Эйнштейн в записке к Ле Корбюзье отметил: "Это гамма пропорций, которая делает зло трудно, а добро легковыполнимым" [30].

Таким образом, если принять значение $k=1,118 (\frac{1}{2}\sqrt{5})$, то оно будет наилучшим образом соответствовать статистике вышеприведенных морфометрических данных человека (его среднему росту). Действительно, совместно обработав данные о росте спортсменов (см. табл. 6) и данные ЦНИИТИА относительно роста мужчин 20—40-летнего возраста, можно получить следующий результат: $1,764 \pm 0,045$ м. При нормальном распределении параметра в пределах среднеквадратичного отклонения максимальный рост мужчины равен $1,764 \pm 0,045 = 1,809$. В то же время, подставляя в соотношение $k = \frac{1}{2}\sqrt{5}$, при $n=1$ получим $\frac{\sqrt{5}(\sqrt{5}+1)}{4} = 1,809$, т.е. величину, идентичную статистически рассчитанному максимальному росту мужчины. По аналогии с Модузором высота фигуры человека с поднятой рукой будет равна в этом случае $\sqrt{5} = 2,236 = 2,24$ м (расхождение с величиной 2,26 порядка 0,9%).

Ле Корбюзье не был специалистом в области математики, но придавал ей большое значение, говоря: "Математический расчет является таким же элементом творчества, как цвет, как величина, рисунок, пространство и т.п." [8].

Золотое сечение в природе. Еще Леонардо да Винчи, обобщая свои наблюдения над явлениями природы ("Кодекс о полете птиц"), высказывал мысль о том, что вся природа пронизана математическими законами, и поэтому "... никакое человеческое исследование не может претендовать на то, чтобы быть истинной наукой, если оно не использует математических доказательств и нет никакой уверенности там, где нельзя применить одну из математических наук" [24].

При изучении кристаллов было установлено, что в них могут присутствовать лишь 2, 3, 4- и 6-го порядков. Дать объяснение такому ограниченному набору осей оказалось возможным лишь после разработки теории внутреннего строения кристаллов — теории закономерного ("шеренгами") распределения в пространстве слагающих кристалл элементов. Приняв за основу это положение, нетрудно доказать невозможность в кристаллах осей 5, 7, 8-го и других порядков, воспользовавшись следующими построениями [28].

Представим себе пространство, в котором равномерно (равномерно) распределены точки. Допустим, что через две ближайшие точки A и B проходят две оси симметрии одного и того же n -го порядка. Тогда при повороте около точки B на соответствующий угол точка A займет положение A' , точка же B при повороте вокруг точки A придет в положение B' , следовательно, точки A' и B' окажутся на прямой, параллельной AB . Отсюда следует, что $BA' = AB (1 - 2 \cos \alpha)$. Так как расстояния между точками одинаковы и оба ряда точек взаимно параллельны, приведенное равенство окажется справедливым лишь в том случае, если расстояние BA' будет кратным периоду идентичности AB . Для этого необходимо, чтобы $2 \cos \alpha$ равнялось целому числу, что возможно лишь при следующих значениях $\cos \alpha$: $0, \pm 1/2, \pm 1$, соответствующих углам поворота 60, 90, 120, 180 и 360, т.е. 6-й, 4-й, 3-й и 2-й осям и осям идентичности.

Существуют и другие построения, доказывающие невозможность существования в кристаллах осей 5, 7, 8-го и других порядков. В частности, правильные пятиугольники, семиугольники и т.п. не заполняют плос-

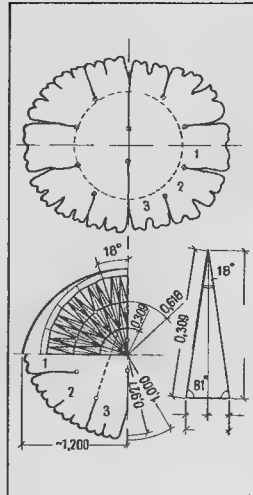


Рис. 78. Одноклеточная водоросль микрастериас и ее геометрическая модель

Рис. 79. Рост раковины белемита. Поперечный срез

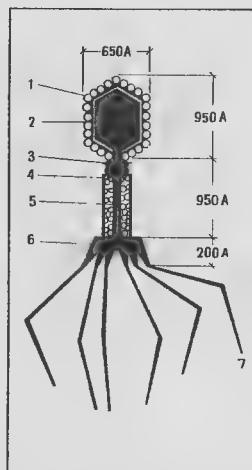


Рис. 80. Морфометрическая характеристика фага Т2
1 — белковая субъединица;
2 — ДНК; 3 — воротничок;
4 — чехол; 5 — стержень диаметром 80А; 6 — базальная пластинка с шестью шипами; 7 — нити отростка длиной 1500А

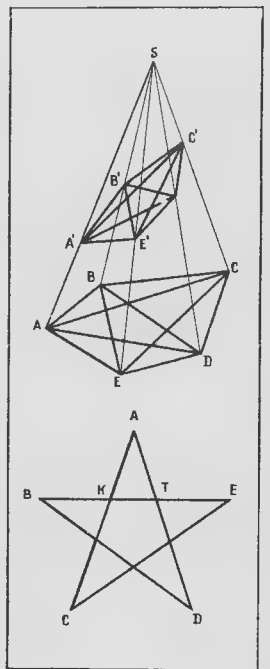


Рис. 81. Иллюстрация к анализу пентагумфных характеристик пятилучевых звезд
а — проективное преобразование звезды (величина пентагумфа ее вершин инвариантна); б — правильная пятиконечная звезда

кость, в то время как треугольники, ромбы, квадраты, прямоугольники, параметрические характеристики которых соответствуют поворотной симметрии 2, 3, 4, 6-го порядков, покрывают всю плоскость без промежутков.

Типичная клетка десмидиевой водоросли микрастериас (Micrasterias) (рис. 78) перед началом деления имеет три взаимно перпендикулярные оси симметрии 2-го порядка, пересекающиеся в точке, являющейся центром симметрии; в этой точке располагается ядро. Оси симметрии определяют три взаимно перпенди-

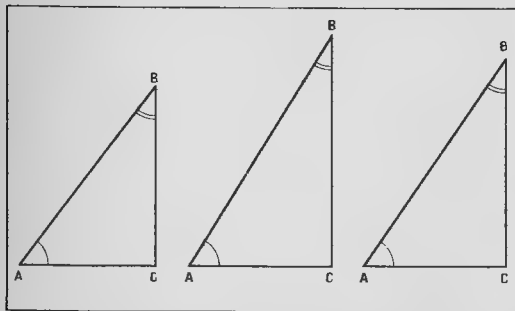
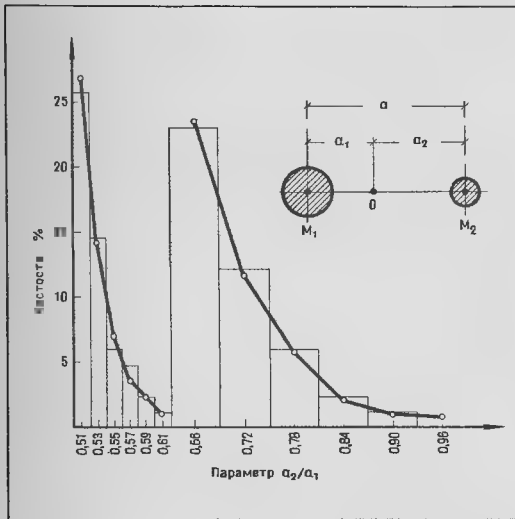


Рис. 82. Вероятностное распределение относительных значений абсолютной орбиты компонента с меньшей массой в тесной двойной звездной системе. M_1 и M_2 — массы звезд в системе; a_1 и a_2 — длина малой и большой полуоси относительно орбиты системы; С — центр масс системы

Рис. 83. Графическое изображение "золотых треугольников"; 1 — поз. 1; 2 — поз. 2; 3 — поз. 3

кулярные плоскости симметрии, одна из которых является плоскостью деления [28].

Интересны закономерности листорасположения (фиалотаксиса): чешуйки шишки располагаются одна подле другой так, что образуют две системы спиральных рядов. В одной системе ряды чешуек направлены по часовой стрелке, в другой — против нее. Всего в шишке 8 длинных и 13 коротких рядов. Более многочисленные ряды направлены по часовой стрелке, если смотреть на шишку от основания, а в левой — против.

В верхушках очень многих побегов можно различить такие же системы спиральных рядов, состоящих из зачатков листьев или цветков. Числа рядов, ориентированных противоположно, отличаются у разных растений, но могут принимать, как правило, одно из следующих значений (в знаменателе записано число коротких, а в числителе — число длинных рядов): $1/2$; $2/3$; $3/5$; $5/8$; $8/13$; $13/21$; $21/34$; $34/55$; $55/89$; $89/144$, ... Пределом этого ряда является иррациональное число $1/\Phi = 1/2 \cdot (\sqrt{5} - 1) \approx 0,61803...$

Несомненно, описанная закономерность — отражение геометрических требований к размещению зачатков листьев или цветков, занимающих определенные площади на поверхности более или менее вытянутого конуса, каким является стеблевая часть верхушки побега.

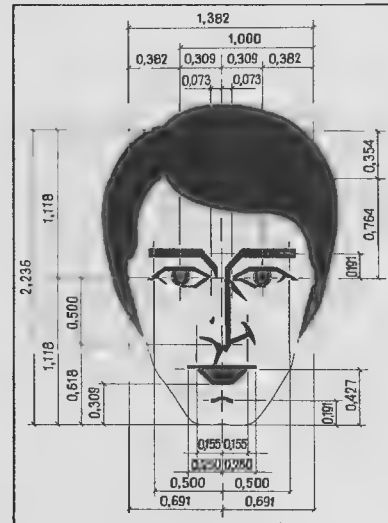


Рис. В4. Портрет. Математическая модель. Рисунок В. Жданова

"... Ряд этих дробей играет основную роль в классификации растений (отрасль ботаники, изучающая расположение ветвей, листьев и семян) и, в частности, в расположении семян многих растений. Например, при рассмотрении вполне созревшей завязи цветка подсолнечника получается впечатление плоского диска, разделенного на маленькие ромбы путем пересечения двух групп кривых линий (логарифмических спиралей); при подсчете этих кривых каждого направления получается для каждого цветка пара чисел, всегда соответствующая одной из следующих дробей: $13/21$ (для вырождающихся цветов), $21/34$, $34/55$ или $89/144$ и, как исключение, $144/233$...". Самым урожайным и выгодным для культуры видом подсолнечника является нормальный хорошо развитый вид, имеющий пару чисел $89/144$ " [19].

В качестве расширения понимания нашего представления о закономерности золотого сечения нами проведена специальная работа.

В отложениях юрской системы часто встречаются конусовидные отростки длиной в несколько сантиметров, называемые в просторечии "чертовыми пальцами". Эти отростки, или ростры, являлись внутренней частью раковины вымерших головоногих моллюсков белемнитов (древнегреч. "белеммон" — страла), напоминавших по своему внешнему виду современных караки. На рис. 79 показан поперечный разрез роста белемнита. Нетрудно заметить, что фигура симметрична относительно оси; контур фигуры образован ветвями противоположно направленными одинаковых логарифмических спиралей, параметр которых, как показывают измерения, равен $(1-0,618) 2/\pi$ или, что то же самое, $(3-\sqrt{5})/\pi$ ($\arccos(3-\sqrt{5}/\pi) = 76^\circ 18'$). Исследованы пропорции белковой субъединицы и ДНК (рис. 80).

Среди множества звезд, усеивающих ночное небо, нередко встречаются пары звезд, компоненты которых очень близко расположены один к другому. Такие пары называются двойными. По-видимому, люди очень давно обратили внимание на такие звезды. Изменение бласа Персея было замечено арабами в IX-X вв.; они

* Числовые данные, являющиеся результатом наблюдения цветов подсолнечника, были указаны Брауном в 1835 г.

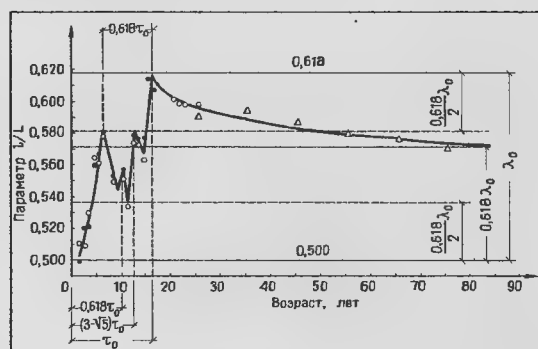
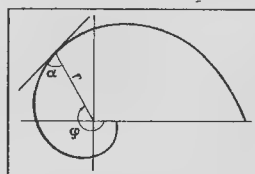


Рис. 85. Изменение пропорций человеческого тела в процессе роста и развития

Рис. 86. Графическое изображение погиримической "золотой" спирали (таблица)



дали этой звезде имя Алголь, означающее, по-арабски, "изменяющийся дух". Звезды, составляющие двойную систему, можно увидеть невооруженным глазом (Мицар и Алькор в созвездии Большой Медведицы) (рис. 82).

На рис. 82 приведены вероятностные распределения относительных значений большой полуоси абсолютной орбиты компонента с меньшей массой в тасной двойной звездной системе (M_1, M_2 — массы звезд в системе, причем $M_1 > M_2$; a_1 и a_2 — длины малой и большой полуоси относительно орбиты системы; C — центр масс системы). Эти распределения были построены по данным таблицы абсолютных размеров и масс спектрально-затменных двойных звезд, составленной М.А.Свечниковым. Гистограммы параметра a_1/a_2 соответствуют фактическим данным, приводимым в указанной таблице; графический анализ показал, что приведенные распределения удовлетворительно аппроксимируются экспоненциальными кривыми, которые на графиках обозначены толстой линией. Вероятностное распределение параметра a_1/a_2 представляет собой композицию двух распределений; среднее значение для одного из распределений оценивается величиной $0,53 \pm 0,03$; для другого — величиной $0,72 \pm 0,07$. В то же время среднее значение параметра для композиции распределений в целом составляет приблизительно 0,62. Интересно, что для интервала значений параметра, лежащего в пределах 0,61–0,63, характерна весьма малая вероятность (порядка 1%) состояния двойной звездной системы. Затем наступает резкое увеличение вероятности в соседних классах с большим значением параметра a_1/a_2 . Сейчас трудно сказать, чем объясняется такой скачок вероятности на границе золотого сечения — то ли это эффект, обусловленный наблюдательной селекцией, то ли эффект, связанный с физическим состоянием двойной звездной системы.

Этапы роста и развития живых организмов отмечаются их структурными изменениями. Стебель растения развивается от узла к узлу, соразмеряя на каждом этапе своего роста расстояния между узлами или междоузлиями. Человеческое тело расчленяется по вертикали в определенных соразмерностях. Возникают как бы диаграммы роста живых организмов, отмеченные изменением соразмерностей их частей (рис. 85).

Советский архитектор И.В. Жолтовский считал, что все основные членения живой природы всегда выражают

и воплощают в себе то или иное взаимодействие сил тяготения и инерции [15]. Пропорции — наглядное выражение этого взаимодействия. Активно используя в своей архитектурной практике пропорции золотого сечения, И.В. Жолтовский сделал также большой вклад в его дальнейшую разработку. Но, к сожалению, принцип золотого сечения в архитектуре был настолько абстрагирован от тех жизненных процессов и законов развития живой природы, выражением которых он является, что превратился в геометрическую схему, накладываемую механически на "живой" организм архитектуры.

Проведенные в лаборатории архитектурной бионики ЦНИИТА предварительные исследования, а также работы многих наших современников-ученых показали, что золотое сечение является механизмом, но механизмом гармонического роста и развития живых организмов и в итоге характеризует их энергетический баланс. Оно обнаруживается на макро- и микроуровнях живой природы, в самых различных геометрических соотношениях: линейных, плоскостных, объемных и их взаимосвязях между собой (например, динамика соотношения объемов и поверхностей раковин мидии на определенных этапах их роста).

Об этой идее А.К. Буров писал, что пропорции, над которыми он работал, основаны на последних исследованиях математиков, астрономов и физиков, которые нашли, что Вселенная, земной шар, организмы, растения, кристаллы — все подчинено элементарным математическим законам. Причем пропорции золотого сечения тождественны для снежинки и растения [15].

Есть еще одно интересное соображение, высказанное А.К. Буровым об ощущении недостаточности известных нам отношений золотого сечения в первой его производной для получения "тонких отношений, почти равных членению пополам". Не случайно поэтому и И.В. Жолтовский, и А.К. Буров пытались найти менее "контрастные", менее резкие результаты отношений в золотом сечении — его производные 528:472 и 507:493.

В живой природе мы обнаруживаем очень "мягкие" нюансные соразмерности. Их выявление важно для дальнейшего совершенствования средств гармонизации в архитектуре. Но наряду с нюансными производными золотого сечения в живой природе существуют и весьма резкие его соотношения, свидетельствующие не только о малых изменениях, но и о динамичных рывках в процессе роста организмов и их приспособляемости к условиям жизненной среды. Известно, что циклы роста живых существ неравномерны в течение их жизни. Кроме того, существуют метеорологические факторы, ускоряющие или замедляющие рост. По-видимому, и в архитектуре, в том числе и в индустриальном строительстве, необходимо сочетать динамику резких увеличений и малых изменений форм, используя золотое сечение (наряду с другими средствами гармонизации), которым, если уж его применять, должна быть пронизана вся структура здания. Однако методику применения золотого сечения следует разрабатывать заново; а его значение, как уже было сказано, не стоит преувеличивать, но и не надо преуменьшать.

Интерес к пропорции в архитектуре в наше время был несколько утрачен. Произошло это, во-первых, в связи с индустриализацией строительства, основанной на первых этапах главным образом на внедрении сборных, стандартных элементов, размеры которых определялись в первую очередь утилитарно-функциональными требованиями и экономикой; во-вторых, в связи с внедрением в архитектуру сложных пространственных конструкций, пропорционирование форм которых весьма затруднилось.

Современные методы математики, например, топологии, статистики, внедрение в науку электронно-вычислительных машин и т.д. позволяют исследовать законы соразмерностей сложных форм, вникая в их сущность. При этом нужно учитывать, что зрительный аппарат человека, а в определенной степени и его психология формировались в течение многих тысячелетий на объектах живой природы.

В этом отношении несомненно прав А.К. Буров, когда говорит, что пропорции — это далеко не все то, что нужно, пропорции — это очень небольшая часть от всей задачи архитектуры. Овладеть пропорцией и не овладеть архитектурой, это все равно, что ничего не уметь делать. Но А.К. Буров и не преуменьшал значение пропорций в архитектуре; он писал, что одним из основных условий гармонического решения архитектуры здания является соблюдение такого пропорционального построения, при котором все соотношения здания находились бы в единой пропорциональной зависимости.

БИОНИКА И АРХИТЕКТУРНОЕ ТВОРЧЕСТВО*

Неудовлетворительность формой и способами, которыми архитектура выражает свою сущность, в мире людей извечна. Человек всегда испытывал потребность что-либо изменить, внести новое в движение истории. Архитектура — это одно из проявлений его деятельности.

Мы стремимся к новым архитектурным формам, к более точному и понятному их выражению. Однако нас интересуют не просто новые архитектурные формы, но и логическая система конструкций, отражающей импульсы научно-технического прогресса.

Импульсы современной жизни вдохновляют зодчих на создание новой архитектуры с помощью новых средств. К достижению цели ведет много путей — верных и ошибочных, известных и непроторенных.

Как уже говорилось, предметом данной работы являются вопросы конкретного проявления метода бионики в архитектурном творчестве (рис. 87).

Архитектурная бионика развивает художественную фантазию будущего архитектора, но и таит в себе опасность формального понимания законов развития биологических организмов уже на уровне первых учебных экспериментов. Однако оценка первой степени использования метода архитектурной бионики в "создании" архитектурных форм гарантирует направление следующего хода и убеждает в том, что мы находимся лишь в самом начале нового познания.

При подготовке будущих архитекторов возникает вопрос, возможен ли общий, упрощенный метод архитектурного творчества? Ведь архитектурное творчество считается чем-то неповторимым, индивидуальным. Архитектурная бионика дает положительный ответ. Обогащая архитектурное творчество научным методом, она становится одним из важнейших моментов возникновения архитектурного произведения, проявлением и формой объективно-субъективного отражения и реконструкции мира.

На основе применения в СССР фундаментально разработанной в настоящее время теории эстетики можно с уверенностью сказать, что метод архитектурной бионики привносит в архитектуру "конструктивно-знаковые" элементы, участвующие в образовании художественного стиля (рис. 88).

Молодому архитектору, как в прошлом, так и в настоящем, архитектура его современности представляется недостаточно революционной. Будущий архи-

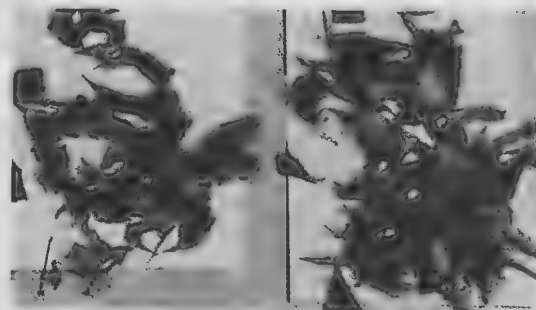


Рис. 87. Поиски новых архитектурных форм, навеянных живой природой. Мастерская архитектурной бионики архитектурного факультета Словацкой высшей технической школы (Братислава, ЧССР)

* © Šarafin Michal (ČSSR), 1983.

тектор полагает, что с его приходом в архитектуру мир преобразится. Эти слова отражают идеи К. Гонзика и других представителей архитектуры Чехословакии 20–30-х годов, в которых можно найти историческое наследие и для архитектурной бионики.

Архитектор в своей работе привыкает к логическому методу мышления и тем самым создает вокруг себя как бы преграду для вхождения в мир, где формы объединяются согласно другим принципам, нежели только логическим. Архитектурная бионика предоставляет ему эту возможность. Художественная фантазия (первая стадия) должна помочь форме родиться из функции. Речь идет об исключительно тонком процессе, и достаточно лишь слегка преступить грань, чтобы форма разошлась с функцией и подавила ее. К. Гонзик сравнивал функцию и форму с двумя угольками лампы, которые светятся лишь в определенном оптимуме. Если они слишком отдаляются, то между ними образуется избыточное давление и излучение прекращается. Задача состоит в том, чтобы найти художественную форму для функционального решения. Эскизы, выполненные молодыми архитекторами, свидетельствуют о стремлении открыть более высокое архитектурное качество, отличное от того, что нам сегодня представляется удобным в механически воспроизведенной "панельной" схеме.

Инерция архитектурной формы. Мы встречаемся с ней ежедневно. Время от времени от нее избавляемся, но вместе с тем нас возмущают и новые формы, зачастую чужие нашим чувствам, предсказывающие приход новой функции.

Вокруг нас постоянно возникают противоречия между старой формой и новой жизнью. Наряду с этим рождаются новые формы, предназначенные для новых функций, еще не вошедших в жизнь. Повсюду происходит движение, которое имеет своей целью достижение равновесия форм, их спокойствия, зрелости. Уже в период деятельности чехословацкого архитектурного авангарда 20–30-х годов источник художественных впечатлений рассматривается как выражение функциональности и абстрактности. Суть функционализма заключается в том, что главным в архитектуре считается ее функциональность — такая пластичность сооружения или пространства, которая отчетливо выражает все функции сооружения (включая и технические). А функциональность, в свою очередь, имеет внутреннее и внешнее выражение. Оба выражения до некоторой степени противоположны, и архитекторам выпала задача поиска их выравнивания. Теоретические основы этой средневропейской школы архитектуры, поддержанные школой Баухауза, образуют предпосылки применения архитектурной бионики в процессе архитектурного творчества.

В творческом диалоге функции и конструкции раскрываются закономерности, перед которыми стоит развитие архитектуры. Сегодня многие архитектурные произведения напоминают орган, который продолжает жить даже тогда, когда он уже не нужен (например, в природе зубы моржей и их неиспользованность). Так форма приходит в противоречие с функцией. Функция динамична, мы ищем и предвидим, какие формы будут ей соответствовать, или, наоборот, какие формы будут предусматривать или программировать новые функции.

Создание бионических моделей через "технологическое изучение" биологических организмов становится средством возникновения новых форм в архитектуре (рис. 89).

Бионические модели, основанные на конструкции "точек соединения" ее отдельных составных частей. В отличие от мембранного типа устойчивости "непрерывной системы" они основывают способность своего

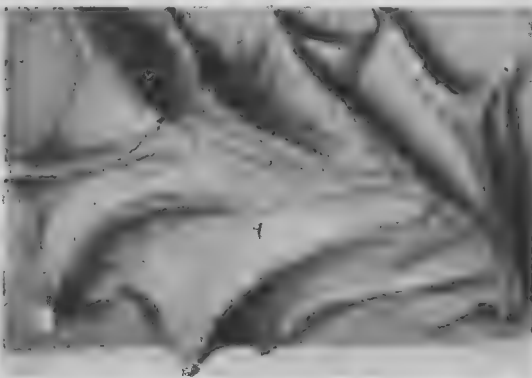


Рис. 88. Архитектурно-бионические модели, навеянные внешним восприятием природных форм

действия на устойчивости точки, узла, соединения. В практике строительства мы привыкли к "точкам" совместного воздействия конструкций, обеспечивающих устойчивость в постоянных точно определенных направлениях. В настоящее время ставится задача соединения конструкций, гибких в функциональном отношении, допускающих возможность замены экс-

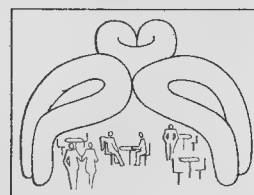
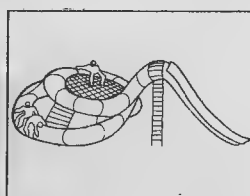
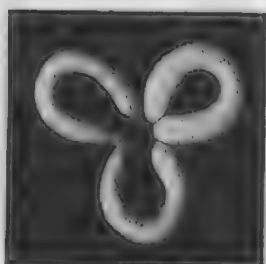
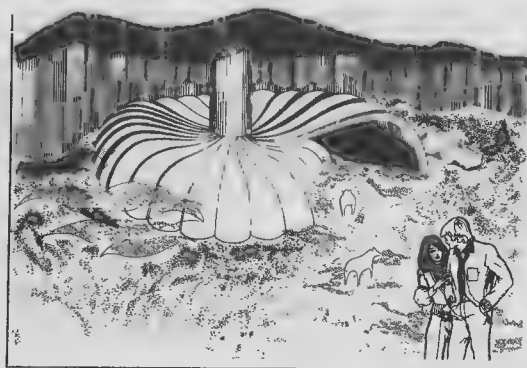


Рис. 89. Модели конструкций живой природы. Архитекторы М. Шарафин (рук.), И. Лиштиак, И. Гаржова. Моделирование пневматической формы стебля растения

плутационных функций и быстрой застройки комплексов и т.д.

"Точка движения" становится основным звеном адаптационных, трансформирующихся способностей конструкций. Их совершенствование мы ищем с помощью архитектурной бионики. Предметом изучения являются в первую очередь те места — точки, благодаря которым биологический организм наиболее совершенен реагирует на изменения условий жизни: против засухи — изменением окраски, против силы ветра — эластичностью своих составных частей, целеустремленным движением за солнцем, и т.п. То же самое можно сказать о совершенстве человеческого организма и строении суставов его скелета.

Нам известны "линейные" направления движения, при которых конструкция может изменить свою форму. Примером является бионическая модель, основанная на изучении живых гибких тканей, сморщивающихся или натягивающихся. И в них на первый взгляд движение происходит на основе бионической модели линейного движения. Это ткани-структуры, в которых заложена способность к преобразованию формы: или в зависимости от роста (например, порядок роста гриба), или путем системы раскрытия или закрытия как естественной реакции растения на изменения внешнего микроклимата (рис. 90).

Точки движения бионической конструкции могут быть также узловыми. На их принципе основывается целый ряд пространственных стальных конструкций, у которых наблюдается бионическое свойство "размножения" одного элемента клетки в систему элементов. "Выращивание" клеток соответствует таким свойствам строительных конструкций, как сборка и монтаж. Стебель растения представляет собой не просто совокупность клеток, он укреплен внутренне системой узлов и стержней (рис. 91).

Мы находимся перед фактом новых архитектурных экспериментов. Ищем спасения от изоэренности (рафинированности) и эклектики. Изменяем традиционную логику архитектуры в связи с появлением новых

материалов и конструкций (Ц. Сидел — Е. Торроха). Логика архитектуры имеет много сторон. Обратимся к бионической логике. Достаточно лишь сравнить каркасные конструкции со скелетными системами животного мира. В случае живых существ мы видим логику в соотношении массы их скелетов и массы, которую они способны удерживать; каркасы же (скелеты), используемые в архитектурных объектах, это лишь начало того, в чем мы могли бы приблизиться к логике живой природы. Эту задачу архитектура решает по-разному, а ее формы — результат научных открытий и обобщения новых закономерностей. Можно говорить о биофизической, химической или даже математической архитектуре. Это уже не только продукт художественного воображения или имитации чего-то существующего; это новые поэмы архитектурных форм, композиции бионической логики. Архитектурная бионика раскрывает картину новой архитектуры, которая будет характеризоваться прежде всего большим богатством форм в выражении своего содержания. Можно также согласиться с С.Клаучо в том, что архитектура уже будет не музыкой в камне, а музыкой форм и пространства. Результаты архитектурной бионики уже проявляются в проектах.

Необходимой составной частью архитектурной бионики, с которой следует считаться, является эмпирический уровень. Он располагает своим обобщенным "историческим" опытом, но появляется и в крайне индивидуализированном опыте. В нашем опыте это подтвердилось не только выбором, но и усвоением новых композиционных принципов, вызванных архитектурной бионикой, в решении конкретных архитектурных задач. Архитектурная бионика активизирует человеческую энергию и с новой интенсивностью направляет ее на действия. Прилагаемые проекты архитектурных произведений, выполненные в мастерской архитектурной бионики под руководством автора, имеют целью документировать пересечение "порога" этой новой деятельности в подготовке будущих архитекторов.

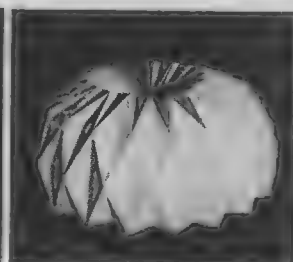
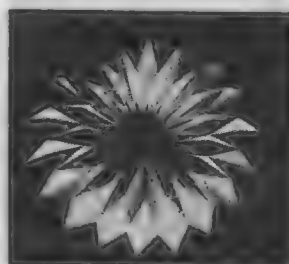


Рис. 90. Открывающиеся и закрывающиеся структуры. Модели

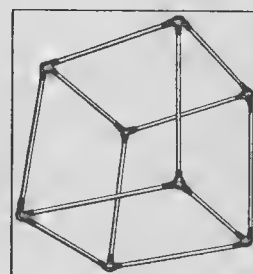
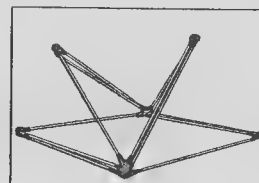
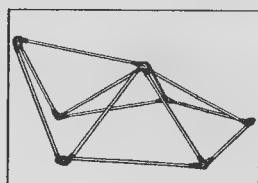
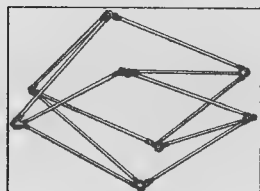
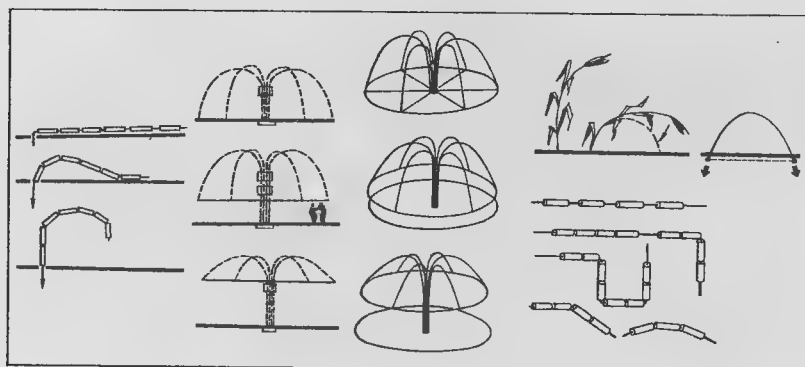


Рис. 91. Трансформируемые стержневые системы с узлами (М. Шарафин, Я. Дундлин)



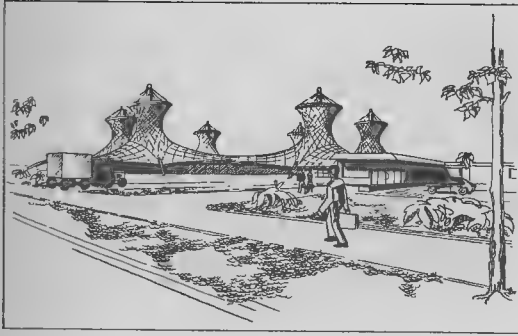


Рис. 92. Конструкции висячих систем. Архитектурные предложения для объектов крупного социалистического сельскохозяйственного производства (М. Шарафин)

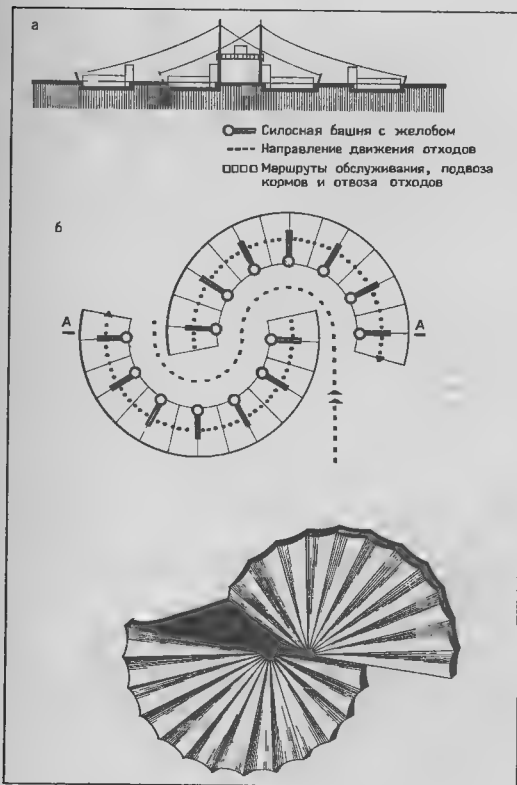
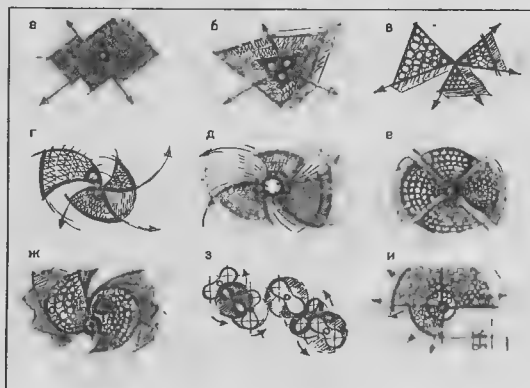
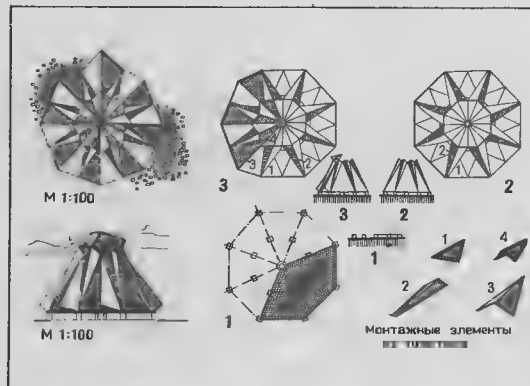
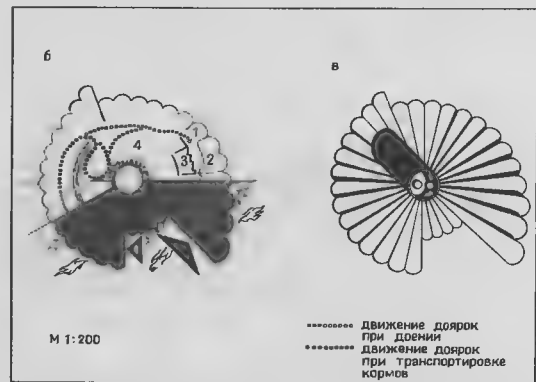


Рис. 93. Временные, сборные, легкие и передвижные складские помещения и укрытия (М. Шарафин). Навесы для укрытия скота в летнее

1 — мойка; 2 — инвентарь;
 3 — помещение для доярок;
 4 — рабочее место; а — разрез А—А; б — план помещения; в — план кровли. Бионические модели горизонтального роста



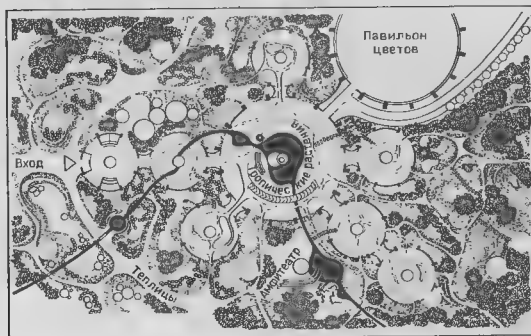
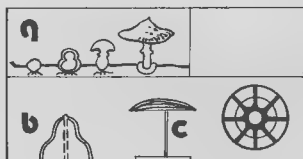


Рис. 94. Архитектура открытого пространства (М. Шарафин). Бионическо-тектоническая модель гриба. Проект ботанического сада в пространственной структуре города



Основной композиционный закон архитектурно-бионических форм — единство и порядок, а не переоценка, как могло бы показаться, одного элемента, например формы. Архитектурно-бионическая форма ассоциирует имеющийся исторический опыт. Она не должна быть символом лишь современных проблем архитектурного развития подобно имеющимся тенденциям "постмодернизма", которые ставят перед собой цель "улучшить" архитектуру лишь за счет функциональной сущности.

Мы будем говорить о проявлениях функции и конструкции в архитектурной композиции, решаемой средствами бионики. Следует сказать, что здесь происходит конфликт между новой, как правило, несозревшей, но функционально обоснованной формой и эстетическим увлечением старой, укоренившейся, но функционально уже неудовлетворяющей формой. Сегодня использование традиционных методов при создании конструкций зданий не соответствует зрелости строительной техники (рис. 92). Новая тектоника архитектурных произведений подобна "мосту", через который функция осуществляет свою цель путем художественного конструирования вещественного пространства. Это общие положения композиции архитектурно-бионических форм.

На архитектурном факультете Братиславской Высшей технической школы проведены поиски в направлении использования динамических элементов архитектурной формы вместе со статическими, для объектов строительства в сельском хозяйстве. Здесь реализованы архитектурно-бионические принципы единства статики и динамики в живой природе, о которых говорилось выше. Собственно и динамическую архитектуру нельзя строить без статических элементов.

В предлагаемых проектах зданий и сооружений композиция строится следующим образом. Имеется определенное статическое композиционное ядро — доминанта, вокруг которой идет характерная своей динамикой жизнь, что находит отражение и в "обстройке" ядра. Возникает архитектура, в которой искусственное пространство переходит в естественное. Эта архитектура руководствуется композиционными принципами роста, накопления элементов форм обстройки или их замены. Образуется сочетание построенных и временных элементов зданий и сооружений, обеспечиваемых соответствующими конструктивными средствами

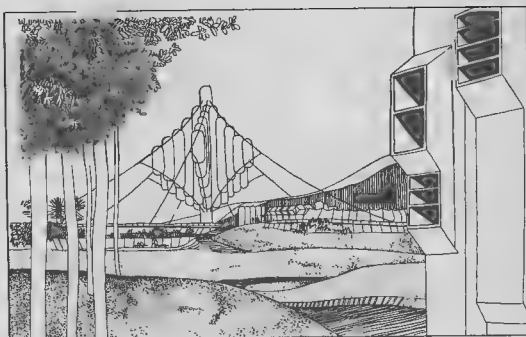


Рис. 95. Вертикальные трансформируемые объекты для сена (М. Шарафин). Бионическо-тектоническая модель стебля растения. Объект сезонного типа для складирования кормов

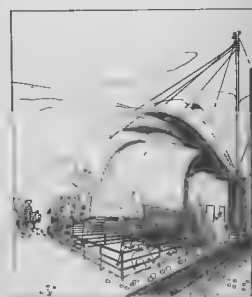
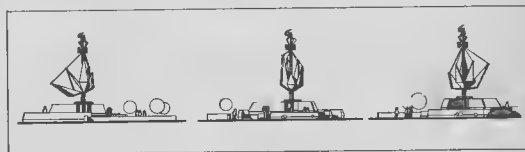


Рис. 96. Архитектура и бионические образы (М. Шарафин). Проект монумента социалистических достижений в промышленности (общий вид). Природный анализ. Фрагмент плавничатой подвижной кровли



(рис. 93). К ним могут относиться пневматические и складывающиеся конструкции.

Благодаря наличию статических элементов архитектурная композиция приобретает зрительно воспринимаемую устойчивость, эмоциональную убедительность в надежности сооружения. Динамические элементы сообщают живость архитектурным формам и уверен-

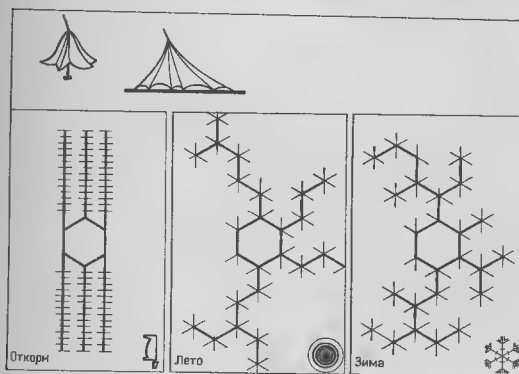
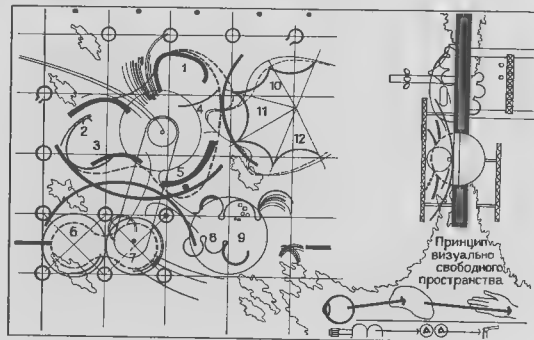
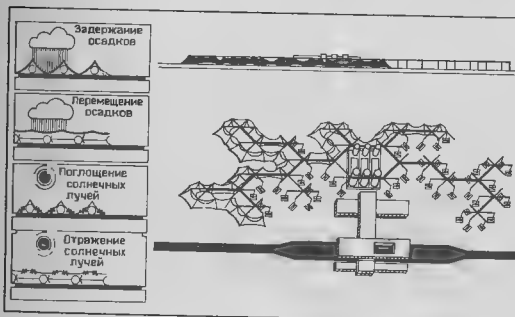
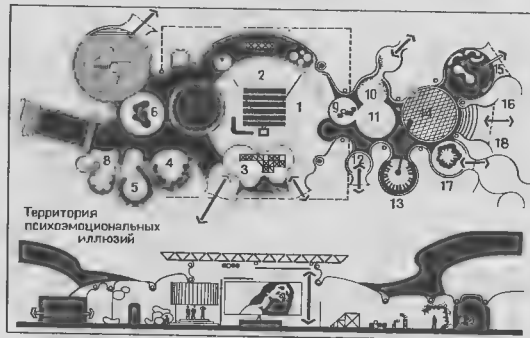
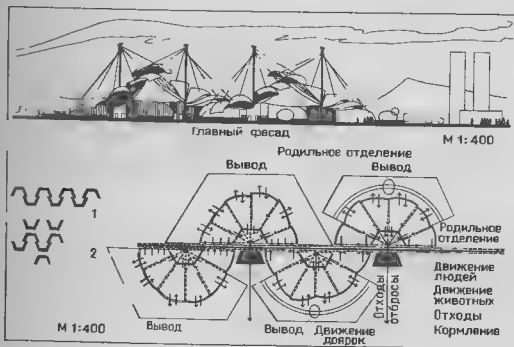
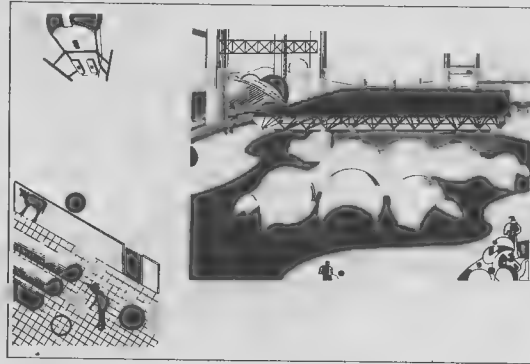


Рис. 97. Динамическая архитектура (М. Шарафин). Динамические формы природы. Функциональная модель решения скотного двора. Проект скотного двора с использованием сборно-разборных конструкций

Рис. 98. Проект общественно-сельскохозяйственного центра. Общий вид. План. (М. Шарафин) 1 — закусочная; 2 — кафе; 3 — зона пассивного отдыха; 4 — общественные контакты; 5 —

зрительно-звуковая информация; 6 — зона культурно-общественного назначения; 7 — аукцион скота; 8 — кино; 9 — голография; 10 — детская зона; 11 — спортивная зона; 12 — гольф-клуб

ность в их функциональной мобильности, приспособляемости (рис. 94).

Архитектура "вертикально-динамическая по форме". Предлагаемые архитектурные формы вертикального композиционного типа основываются на равновесии внутренних сил упругогибкой стебельчатой формы, на которую в живой природе, в разных ситуациях по-разному воздействуют нагрузки. Речь идет о пружинности "натянутой спирали", выравнивающей экцентрицитет действия сил даже тогда, когда в стебле

растения нарушается симметрия и он теряет некоторую часть своих консолей — отростков. Секрет этого свойства раскрывается, но пройдет еще много времени, пока человек начнет им управлять и передаст его в руки конструкторам для разработки теории статических расчетов таких конструкций. Возникает большой экономический резерв силовой "разгрузки" массивных вертикальных конструкций в связи с действием в них саморегуляции эксцентрических нагрузок.

Экономия воды в сельском хозяйстве приводит к проектам вертикальных конструкций силосных башен. До сих пор архитектурная форма таких башен была громоздкой и нарушала не только панораму, но и экологию окружающей природы. Бионическая модель такого типа сооружения дает возможность использовать легкие конструкции, сочетаемые с адаптацией формы к сезонному функционированию. Такая архитектурная форма соответствует динамике своей функции, как мы это наблюдаем у растительных организмов (рис. 95). В отличие от предшествующего ему типа бионический тип передает свои тектонические способности прямо на службу отдельных подвижных элементов своего организма. Так, еле заметное движение лепестков цветка порождает синтез функции и красоты природной формы. Подтверждается, что даже на первый взгляд определенное "натуралистическое" заимствование образов природных форм может не противоречить архитектурно-художественным задачам. Это порождает те индивидуальные черты в архитектурной форме, когда ее можно сравнивать с работой художника или скульптора. Пейзаж на полотне картины может соответствовать своему действительному оригиналу и все же быть художественным произведением. Успех художника зависит от того, сможет ли он выразить свое отношение к ней. Думается, что на существование имеет право архитектура изобразительно-бионическая. Приведенный в качестве примера проект должен убедить в этом. В нем движение элементов пластин кровли выражают единство защитной функции кровли (пластины в горизонтальном положении — кровля закрыта) и художественного замысла (выразительность поднятой крыши, формирующей образ цветка) (рис. 96).

Таким образом, художественный замысел служит автоматизированной производственно-технологической программе. Именно сельская архитектура все в большей степени основывает свою будущую программу на непосредственных отношениях с окружающей природой.

Архитектура "горизонтально-динамическая по форме" имеет целью наметить другую типологическую группу тех архитектурных форм, которые обладают способностью приспособляемости к горизонтальной технологии. В зависимости от своих конструктивных возможностей они позволяют в той или иной мере изменять планировочно-эксплуатационную форму здания или сооружения. Возможности для этого дают легкие конструкции, исследование которых и их замечательные свойства раскрывает Ф. Отто. Их аналоги мы видим и у растительных организмов, где армированные мембраны приобретают разные формы. "Свободно натянутые" мембраны в летнее время могут найти весьма широкое использование (рис. 97, 98).

ОБРАЗЫ ПРИРОДЫ В АРХИТЕКТУРЕ

Развитие и возникновение новых форм общественной жизни, достижения научно-технического прогресса, внедрение пространственных конструктивных систем и эффективных строительных материалов — все это привело к рождению новых свойств архитектурной формы, которые так же, как и известные нам "классические" свойства, участвуют в становлении ее красо-

ты. При этом происходит интересный процесс: тенденции формообразования в современной архитектуре (в пределах принятого понятия "отвлеченная форма", "структура" или "система") начинают как бы сходиться с формами живой природы, приближаться асимптотически (никогда, естественно, не приблизившись) к ним по своим свойствам, являющимся результатом взаимодействия функции, формы и техники.

Эстетические чувства вызывают наблюдаемые нами в живой природе свойства, которые ассоциируются с большими достижениями в архитектуре, прошедшими через десятилетия научно-технического прогресса и научно-творческую мысль архитекторов и инженеров XX в.

Сюда относятся внешне ярко выраженная физическая легкость природных форм при больших возможностях сопротивляемости механическим воздействиям; свободно развивающееся пространство, отличающееся многоплановостью и прозрачностью, которая способствует глубоко проникающему визуальному наблюдению и целостному восприятию; структуризация пространства; чередование различных форм, структур, масс и пространства с постепенными переходами, осуществляемое при помощи действия механизма закона дифференциации и интеграции; пластичность форм; упругие и легкие изгибы сплошных и широких поверхностей, подобных выполненным из жепезобетона и пластмасс оболочкам-скорлупам, применяемым в архитектурной практике; динамичность — как реальные движения, так и образное выражение роста и развития форм и т.д.

Архитектурная бионика стремится изучить объективные закономерности проявления этих свойств и найти им применение в архитектуре не только с целью решения чисто практических задач — конструирования, создания ограждающих поверхностей, организации среды и т.д., но и задач эстетических, связанных с гармонизацией функции, формы и техники.

Однако не только сегодня, но, по-видимому, и на протяжении всего существования зодчества архитекторы художественно осмысливали, доводя до образности, указанные выше свойства форм и пространства природы, часто не задумываясь над обуславливающими их функциями и не связывая их с последними. И тем не менее это не только не противоречило потребности и развитию человеческого духа, но и было во многих случаях необходимо для его возвышения, для выполнения больших общественных задач средствами искусства архитектуры.

Формы природы, их пространственные сочетания становились в определенных случаях прообразами художественных архитектурных форм. Например, мотив зарослей лотоса интерпретирован в колоннаде египетских храмов, мотив леса — в интерьерах готических соборов, что придавало им не только выразительность, но и идеологическую настроенность.

Динамика развития, роста, жизнеустремления в архитектуре нередко символически выражается в форме пространственной спирали, даже если этот прием с точки зрения функции и не обязателен (но и не противоречит ей). В живой природе спираль — функциональное проявление рациональности роста и развития организмов: спиралевидные раковины, спиралевидное расположение листьев на стеблях растений, спиралевидный порядок размещения лепестков и цветов и т.д.

Проблема динамики всегда тревожила архитекторов. Если сейчас имеются технические условия для конструирования реально подвижных архитектурных форм, то в традиционной архитектуре, когда это было нужно, архитекторы стремились выразить идею динамической формы иллюзорными средствами. В результате практикой архитектуры был разработан ряд приемов, спо-



Рис. 99. Павильон Болгарии для ЭКСПО-70 в виде раскрывающегося цветка розы. Конкурсный проект (2-я премия). Архит. Матей Матеев (НРБ)

Рис. 100. Памятник Христофору Колумбу. Конкурсный проект. 1930 г. Архит. К.С. Мельников (СССР)

собствующих достижению динамической выразительности архитектурных форм. Современные архитекторы также не отказываются от создания образов движения.

В 1969–1970 гг. болгарский архитектор М. Матеев представил на конкурс (и получил II премию) проект павильона Болгарии на ЭКСПО-70 в Осака (рис. 99). За основу образа он взял розу и придал ей “динамичную” форму готового распуститься бутона. В этом решении архитектурного образа выбор розы представляется вполне оправданным: это не копирование природной формы, а художественная интерпретация популярного в Болгарии цветка в архитектурном произведении.

При создании образа памятника Христофору Колумбу (1930), предполагаемого к строительству в районе высадки экипажа его корабля на американской земле, архит. К.С. Мельников использовал “борьбу” двух конусов: конуса устойчивости и конуса роста, символически выражающих все трудности плавания и в итоге победу. Последнюю он “окрылил” в полном смысле слова, прикрепив к верхнему конусу (конусу роста) крылья, которые силой ветра заставили его вращаться (рис. 100). Известно, что в живой природе “противоборство” двух конусов — характерная тенденция, отчетливо проявляющаяся, например, в форме кроны и ствола ели, в развитии грибов и т.д.

Живая природа может вызвать еще более глубоко скрытые чувственные ассоциации, например, в связи с ростом и стремлением организмов к свету, солнцу, теплу, их жизнеспособностью — утверждением здорового начала, проявляющегося в свежих и ярких красках, в упругости тканей, в определенности и постоянстве их формы — жизненной непосредственностью многообразия, даже кажущейся хаотичностью (подобно городу, слагавшемуся в течение многих столетий и вобравшему в себя стили различных эпох).

Уместно ли в бионике использование этих ассоциаций в архитектурных формах? Вполне уместно, если они правильно интерпретируются и не противоречат гуманным целям архитектуры. Способы же их выражения в архитектуре подсказывает живая природа. Очевидно, использование эстетических закономерностей природной гармонии не может полностью заменить художественно-образной выразительности, которая присуща зодчеству, как общественному явлению, но возможности

архитектурной бионики здесь огромны.

Думается, что ассоциативное мышление способствует пониманию и воспроизведению целостного образа, гармонии форм живой природы и архитектуры. Особенно оно важно для понимания “нечто” и многих, часто ускользающих от “глаз” науки изменений форм на современном этапе познания живой природы.

Это отмечает также архит. И.Ш. Шевелев, говоря, что гармония формы, достигнутая вне связи с ассоциациями, не затрагивает глубин человеческого сознания, не обращена к тому, что хранится в памяти человека [29]. Но, подчеркивает И.Ш. Шевелев, искусству архитектуры свойственны не прямые ассоциации, воссоздающие зрительные картины, а ассоциации, пробуждающие, связанные с этими картинами настроения и психологические состояния. В разные эпохи, в разной архитектуре они неодинаковы. Античная архитектура, например, ассоциируется с человеком, а древнерусская представляется связанной с образами природы.

Иногда задается вопрос: не потеряет ли архитектура в связи с использованием законов формообразования живой природы свое национальное лицо, что с точки зрения развития национальных культур было бы неприемлемым.

Мы убеждены в том, что если бы это и случилось, то в этом была бы виновата не архитектурная бионика. Напротив, архитектурная бионика помогает найти еще один путь к развитию национальных черт, а именно в аспекте интерпретации региональных, местных форм живой природы в их целостной, пространственной экосистеме. Последняя же составляет, правда, далеко не единственную, но неотъемлемую часть национальной среды.

Одновременно архитектурная бионика не сужает архитектуру до узконациональной, поскольку многие закономерности и принципы организации живых форм являются всеобщими, не говоря уже о том, что использование законов формообразования живой природы не самодовлеющее и подчиняется главной, социальной функции архитектуры.

Последним и высшим этапом архитектурно-бионического процесса должна стать общественная практика, которая пробуждает новые потребности в бионических

методах и может внести коррективы в старые предубеждения против них. Архитектурно-бионическая практика способна настолько развить и обогатить эту архитектуру, что возникнут фактически совершенно новые гармоничные архитектурно-бионические системы, комплексы, градостроительные природные единства.

ПЛАСТИЧЕСКИЕ ОБРАЗЫ СИНТЕЗА АРХИТЕКТУРЫ И ПРИРОДЫ

Актуальной проблемой современного градостроительства является создание выразительного, монументального облика города. Одна из перспективных концепций — основанная на закономерностях зрительного восприятия архитектурных форм и комплексов идея непрерывности впечатлений, интегрированных в единое пластическое целое архитектурного пространства. В этом отношении живое пространство природы представляется нам удивительным и законченным образом.

В наше время городские пространственные организмы имеют тенденцию к быстрому росту и развитию. Они с трудом поддаются зрительному запоминанию. Ориентация в хаосе крупных типовых форм притупилась независимо от того, идет ли человек пешком или едет в транспорте. Смешалось понятие четкого силуэта города с ближней и дальней зонами восприятия. Человек обитает в пространстве, сотворенном его же руками. Необходимо, чтобы это пространство своим эмоционально-художественным климатом, своей гармонией оказывало обратное воздействие на своего создателя, воспитывая его как эстетически, так и морально. Ле Корбюзье писал:

“Нужно суметь придумать измерительные элементы в соответствии с нашим масштабом . . . — эта проблема является задачей архитектуры. Огромные конструкции будущей планировки раздавят нас. Нужно найти общую меру между нами и этими гигантскими произведениями” [30].

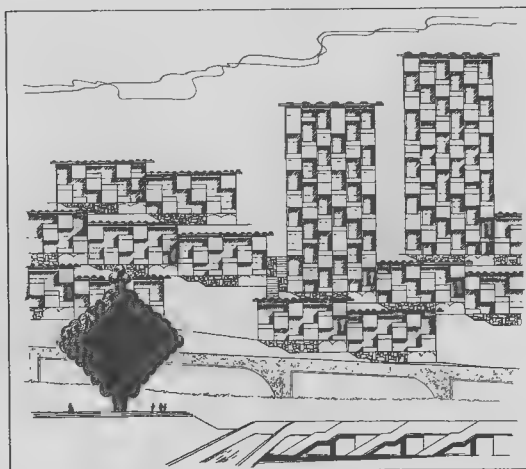
Мы стоим на пороге новых разработок, которые ведутся в основном по двум характерным направлениям пластического формообразования архитектуры: первое наглядно прослеживается в возведении мемориальных комплексов, второе — в бионических разработках форм живой природы.

Увековечение в мемориальных комплексах памяти о павших — это такой динамизм человеческого чувства, что только монументальное выражение в состоянии довести его до души народа. И не случайно источником понятия “интеграция искусства” является возведение мемориальных комплексов, в которых архитектура и скульптура, взаимодополняясь, формируют понятия новой архитектурной эстетики. На данном этапе идут поиски ключа к тайнам архитектурно-пластических форм — монументальных акцентов градостроительства, которые своим эмоциональным настроением вместе с обликом современного города способствовали бы созданию стиля современного зодчества.

В ближней зоне восприятия озвучивание диалога между ориентирующим пешеходом и архитектурными постройками должно осуществляться посредством цветной скульптурной пластики. Однако в “дальней зоне” архитектурного пространства эту проблему обычной скульптурной пластикой решить нельзя, так как размеры монументальной скульптуры растут значительно медленнее, чем размеры архитектурных сооружений. “Сейчас, когда мы создаем новую культуру для всего народа, нам необходимо найти новые образные выражения”, — говорила В.И. Мухина [31].

Решению именно этой проблемы будет служить кульминационный вид синтеза, новая архитектурная эстетика, “. . . которая не музей и не картинная галерея, а здание, которое посещают ежедневно” [32].

Самое сильное пространственное восприятие художественного образа может дать истинно синтетическое



произведение архитектуры и скульптуры, которое не имело себе равных по масштабу, красочности, многообразию и выразительности других пластических искусств.

Идея сочетания скульптурно-пластичных форм с геометрически упрощенными прямоугольными формами массовой индустриальной застройки интересна и перспективна. Однако, если становиться на реальную почву, необходимо решать такие два важных вопроса: создание для скульптурно-пластичных форм своей, специфической индустриальной базы и поиск новых средств композиции, позволяющих гармонично сочетать эти две разнородные по своим формам системы. Для того чтобы решать эти вопросы, требующие дополнительных затрат, следует основательно аргументировать необходимость строительства скульптурно-пластичных форм. По-видимому, их создание должно основываться не только на



Рис. 104. Храм “Армения” — республиканский музей современного искусства. Модель (керамика). Разраз, плен, проект. Архит. М. Антонян

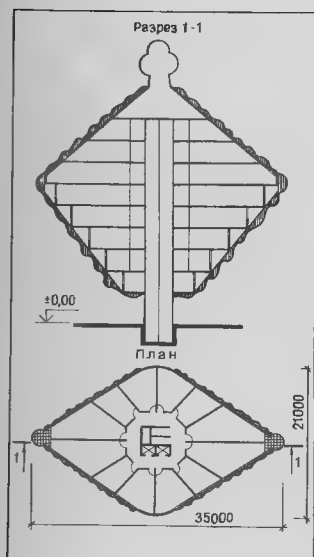


Рис. 101. Храм "Мелодия" — детская музыкально-художественная школа. Модель (керамика). Разрез, план, проект. Архит. М. Антонян

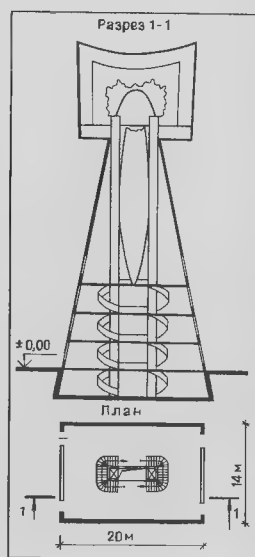


Рис. 102. Храм "Гимн Солнцу". Государственный выставочный зал. Модель (керамика). План. Архит. М. Антонян

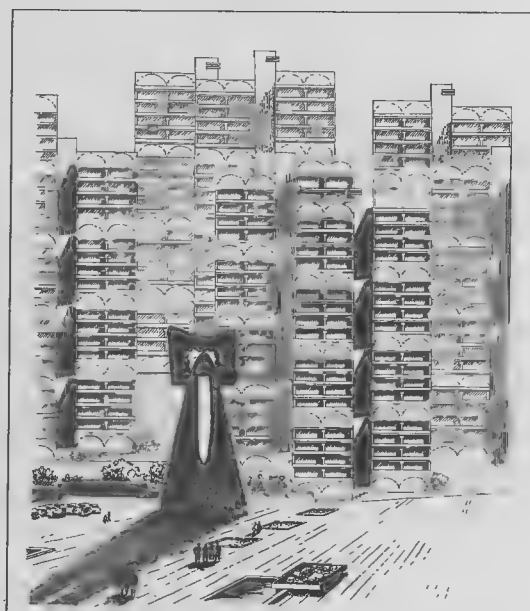
важной художественной, но и на утилитарной, социально-функциональной идее, формирующих вместе идеологическую сторону вопроса.

Общественные "здания-образы", помимо своего идейно-функционального назначения в типовой индустриальной жилой застройке города, будут своими образно новой формой, масштабом, доминантами в градостроительстве создавать своеобразное эмоциональное силовое поле в зоне своего функционирования, выражая при этом и общественное содержание архитектуры. Эти синтезированные произведения архитектуры и скульптуры явятся маяками яркого индивидуального характера архитектуры данного города. "Часто одно или несколько таких зданий осуществляют собой архитектурно-художественный облик целого города и остаются в памяти его синонимами..." [33].

Так, можно не заметить особенности планировки и облик новых домов Москвы, но облик Кремля в сознании каждого, увидевшего город хотя бы раз, остается на всю жизнь.

Художественно-образные выражения архитектуры нового города пробуют решать архитекторы ГДР, конкретно вводя формы-символы. Например, "здание-парус" над портом Ростка, напоминающее оптический прибор; высотное, круглое в плане здание заводской лаборатории в Иене; раскрытая книга университетского корпуса в Лейпциге и т.д. Но это еще незавершенная, наивная поступь мощной, потенциальной силы синтезированного произведения архитектуры — скульптуры.

В направлении творческого поиска новых архитектурных градостроительных форм интеграции искусств заслуженное место занимают "Памятник III Интернационала" В. Татлина; проект монумента в честь покорения космоса, созданный коллективом советских скульпторов и архитекторов под руководством Д. Народицкого; капелла в Роншане Ле Корбюзье; аэропорт им. Кеннеди в Нью-Йорке архит. Э. Сааринена;



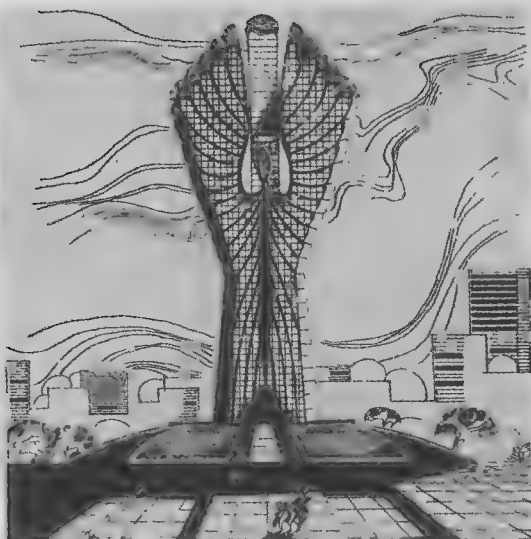
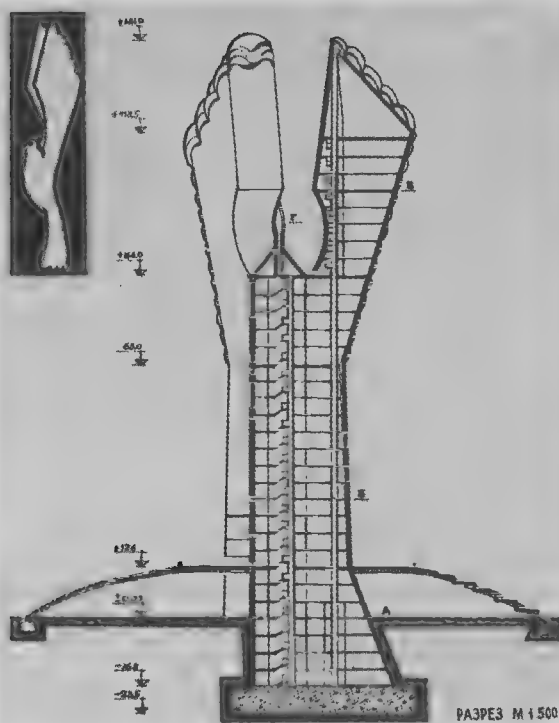


Рис. 105. Дворец мира и дружбы народов. Модель (керамика). Проект. Разрез, план. Архит. М. Антонян

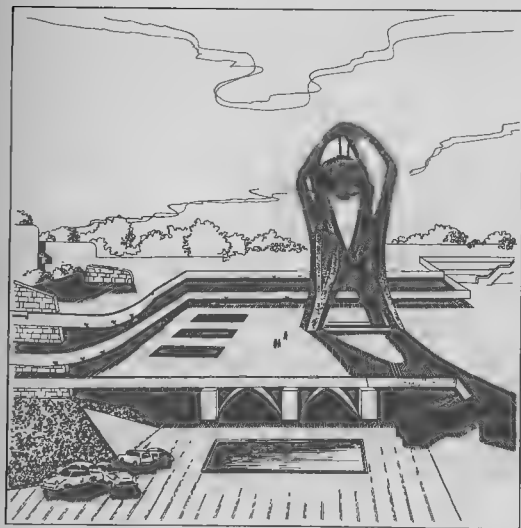


Рис. 103. Здание-образ "Космос" — театрально-спортивное сооружение. Модель (керамика). Проект. Архит. М. Антонян

музей Гуггенхайма в Нью-Йорке архит. Ф.Л. Райта. "И я верю, что в недалеком будущем люди построят храмы, посвященные истине, храмы, посвященные радости, храмы, посвященные Человеку, который является мерой всех вещей" [34].

Хотелось бы привести примеры проектов-идей своих творческих поисков по пути синтеза монументальной пластической формы, архитектуры и природы.

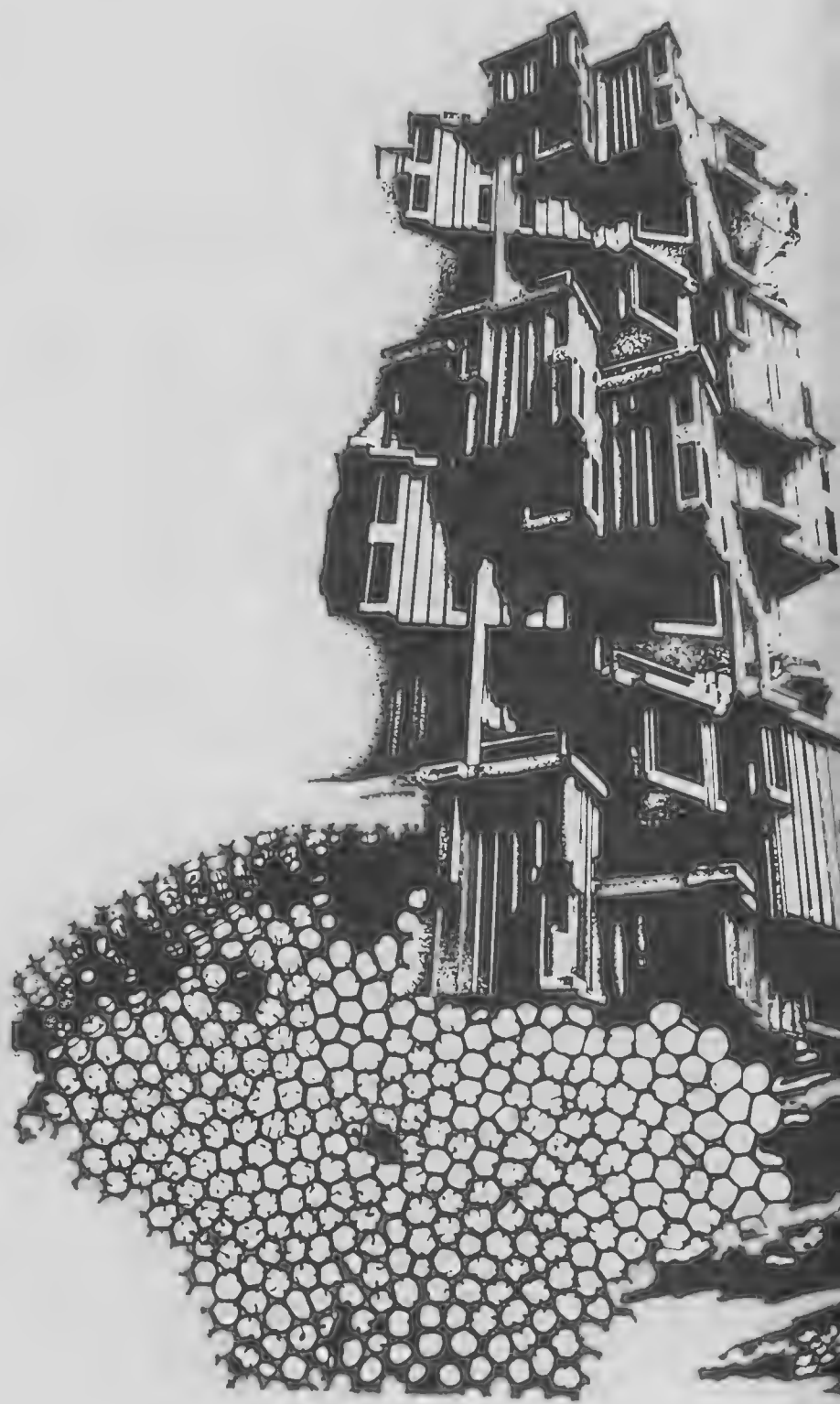
Храм "Мелодия" — монументально-художественное произведение и одновременно функционирующая архитектурная постройка — детская музыкальная и художественная школа, являющаяся художественной доминантой района (рис. 101). В этой работе хотелось бы, чтобы возникшее материально зафиксированное творение души и рук человека служило кульминацией эмоций, родником, источающим мелодичные волны в окружающее архитектурное пространство, превратив архитектурную среду в объект живописного творчества.

Храм "Гимн Солнцу" посвящен Кампанелле (рис. 102), человеку-мыслителю, гуманизм которого вылился в его идеях, мыслях о коммунистическом лучезарном городе "Завтра", построенном человеком, "свободным и равным среди равных". Лучезарный ореол — вот истинное обрамление памяти об этом человеке. Хотелось бы, чтобы эмоционально-цветовые формы этого монументального синтеза содержали столько выразительности и сопонимания, такой радостный порыв чувств, что человек, окунувшись в эту атмосферу, не задумывался бы о причинах охватившего его очарования, не анализировал чудо искусств элементарными мерками архитектурно-художественного восприятия, боясь случайно упустить, оборвать эту волшебную нить переживания.

Здание-образ "Космос" с функционально-архитектурной точки зрения — театрально-спортивное сооружение, летняя эстрада, сцена театра с несменяемой архитектурной декорацией, зимой превращаемая в каток (рис. 103). Место расположения — садово-парковая зона в окружении жилых групп микрорайонов. Назначение — решить проблему новой формы коллективного общения людей. Человек всегда нуждался в человеке, поэтому современный "урбанизировавшийся" народ должен создавать новое искусство, связанное с новой коллективной жизнью. Цветовое сплетение фактических космических опор образуют внутреннее пространство, где как солнце будет сиять ажурный шар-ядро, оснащенное изнутри прожекторами, освещаая арену и посылая лучи в окружающее пространство, маня к себе людей.

Храм "Армения" — республиканский музей современного искусства. Назначение этого сооружения — решить проблему новой национальной, монументальной формы (рис. 104). Исторические формы камней-крестов, имея схожесть с каменными урартскими десницами, поддерживают треугольную массу, материалом которого служили история, жизнь, работа, творчество, дошедшая до нас через все исторические бури и трагедии с седых величавых вершин Арарата. Это — памятник древней армянской культуре и одновременно монумент созидательного "сегодня". Произведение должно излучать своим масштабом как в пространстве, так и во времени, органную мелодию Комитаса на неподражаемом языке архитектуры.

Монумент, отражающий стремление советского народа к миру, — Дворец мира и дружбы народов (рис. 105). Наше искусство — искусство мира, ибо оно многонационально, утверждает дружбу народов. Возвышаясь над всей городской застройкой, монумент будет выражать идею международного мирного сотрудничества в защиту свободы. Это — величавые крылья, свободно развернутые, символизирующие факел, пламя. Они стоят на страже золотого лепестка свободы, готовые взмахнуть всей своей мощью "Прометея-народа", разорвавшего оковы зла и тьмы.



Глава 5

ПОВТОРЯЕМОСТЬ
(СТАНДАРТ)
И КОМБИНАТОРНОСТЬ
ФОРМ
ЖИВОЙ ПРИРОДЫ
И АРХИТЕКТУРЫ



ЧТО ТАКОЕ СТАНДАРТ?

Современная архитектура — это эпоха массового внедрения типовых решений и использования стандартных элементов, изготовленных индустриальным способом.

Не преувеличивая, можно сказать, что проблема стандарта — основная и самая сложная в современном массовом строительстве. Несмотря на то что архитектурный стандарт имеет свою историю (о чем мы подробнее будем еще говорить), его настоящая история началась практически сегодня. Отсюда и те неровности развития архитектуры, основой которой являются стандарт и сборность. Именно отсутствие достаточного опыта в овладении стандартом привело к однообразию архитектуры массовых зданий и некоторым неудобствам жизни в новых домах и микрорайонах. Вместе с тем стандарт всегда будет ставить определенные границы архитектурному творчеству, поэтому-то и стоит вопрос о достижении максимальной эффективности или "гибкости" стандарта, применяемого в архитектуре.

За последние годы советские архитекторы и инженеры сделали очень много в деле освоения стандарта в архитектуре. Результаты их работы — застроенные районы Москвы (Ясенево, Вешняки-Владычино), Ленинграда (Васильевский остров), Киев (Березняки), Вильнюса (Жирмунай и Лаздинай), Ташкента, Навои, Тольятти и других городов. Но потребности рстут, и работа продолжается прежде всего в направлении создания такой системы стандарта в архитектуре, которая бы максимально освободила творческие поиски проектировщиков в организации удобной и эстетически полноценной среды для жизни человека.

Стандарт в архитектуре (не претендуем на исчерпывающее определение) — это изготовленные индустриальным способом, однотипные по размерам, форме, конструктивным особенностям элементы, многократно повторяющиеся в объектах архитектуры (рис. 1). От понятия стандарта неотделимо понятие сборности. Из стандартных элементов собираются типовые здания, а в последнее время в связи с внедрением в московскую практику строительства "Единого каталога унифицированных индустриальных изделий" — индивидуальные по своему облику дома. Но об этом ниже.

Однако сборность, стандарт — вовсе не новость, не изобретение современной архитектуры. Мы не знаем точно, когда впервые человек применил их в строительстве, но еще египтяне, сооружая храмы и пирамиды, выкладывали их из стандартных блоков, заготовленных из естественного камня весом до 2,5 т. Для того времени и того уровня строительной техники такие элементы было далеко не просто освоить. И нас всякий раз удивляет человеческая мудрость, позволившая преодолеть такой вес — вес панелей современных крупнопанельных зданий!

С какой легкостью, с какой скоростью в наше время монтируют дома из крупных панелей. Когда стрела башенного крана переносит панель из района склада изделий на монтаж, она, висаящая в воздухе на большой высоте, кажется нам тонкой легкой пластинкой. Еще более изумляешься современной строительной технике, когда она "играет", как детскими кубиками, блок-секциями на квартиру весом около 30 т!

Однако жители острова Пасхи около 1000 лет назад вырубали из каменных глыб, заметьте, "стандартных" богов-идолов весом до сотни тонн и транспортировали их на десятки километров к океану, чтобы водрузить на каменные пьедесталы. Конечно, у них было много времени. Наш же стандарт должен соединять в себе максимально большой вес с возможностью наименьших затрат времени на его производство, транспортировку и монтаж — этого требует эпоха.

Но вернемся к египтянам. Они предпринимали также попытки укрупнить сырцовый кирпич. В Каирском музее хранятся два древнеегипетских крупных блока-сырца размером 82х52х30 см и весом около 230 кг каждый. По объему такой блок превосходил современный кирпич в 74 раза! Известно, что в Древней Греции при строительстве храмов и крепостных стен из стандартных блоков естественного камня применялась особая сложная система маркировки. А в Москве в XVII в. существовал специальный рынок "Скородом", где продавались типовые деревянные сборно-разборные дома.

В начале XVIII в. застройка ряда районов Санкт-Петербурга осуществлялась типовыми, или, как их тогда называли, "образцовыми", преимущественно кирпичными домами. Они предназначались для различных слоев населения и имели четко выраженное социальное различие. Так, были разработаны дома для "подлых" (ремесленников, мелких торговцев и пр.), для зажиточных и для именитых людей, различающиеся вместимостью и богатством отделки.

В 1722 г. был издан первый правительственный указ "О строении крестьянских дворов в погорелых и вновь строящихся селах и деревнях" по "образцовому" чертежу. Однако на практике соблюдалась лишь одна его часть — расположение изб в линию, вдоль улиц.

После пожара была полностью перестроена на основе регулярного плана, составленного в 1763 г., Тверь (г. Калинин). Ее застройка состояла из однородных или стандартных домов. Для этого специально была разработана серия типовых ("образцовых") проектов с учетом социальных групп населения. Применялись сблокированные, составленные вместе дома, выстроившиеся во всю длину центральных кварталов и улиц так называемым "сплошным фасадом". Однако, и это особенно интересно, типовое проектирование того времени не превратилось в механическое повторение образцов. В проектах определялись лишь общие габариты и пропорции зданий. Соответственно потребностям застройщика допускалась известная свобода внутренней планировки и архитектурной отделки фасадов.

Даже такие уникальные объемы архитектуры, как Парфенон или Эрехтейон (У в. до н.э.), в античной Греции построены из стандартных элементов: мраморные "барабаны" колонн, блоки стеновой кладки, мраморная черепица и т.д. Правда, эти стандартные элементы были однородного применения — только для данного архитектурного объекта. Межвидовая унификация стандартных элементов и их машинное производство, рассчитанные на массовое строительство (массовую повторяемость), — характерная черта нашего времени. В принципе с ней и вошли в советскую архитектуру 20-х годов стандартизация и индустриализация.

ТИПОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТАНДАРТ

До недавнего времени номенклатура индустриальных изделий разрабатывалась на основе типового проекта. В проектах дома как бы "разрезали" на части (недаром у проектировщиков существует термин "разрезка") и на основе этих частей создавались стандарты ("закрытая" система проектирования). Число разрезов, следовательно, и стандартов стремились свести к минимуму (учитывая их вес, мощность транспортных средств и оборудования, возможность технологического исполнения деталей). Затем запускали разрезку в производство. Из полученной таким образом продукции можно было построить только один тип дома — исходный объект операции с разрезкой. В результате в жилых районах различных городов стали появляться дома-близнецы.

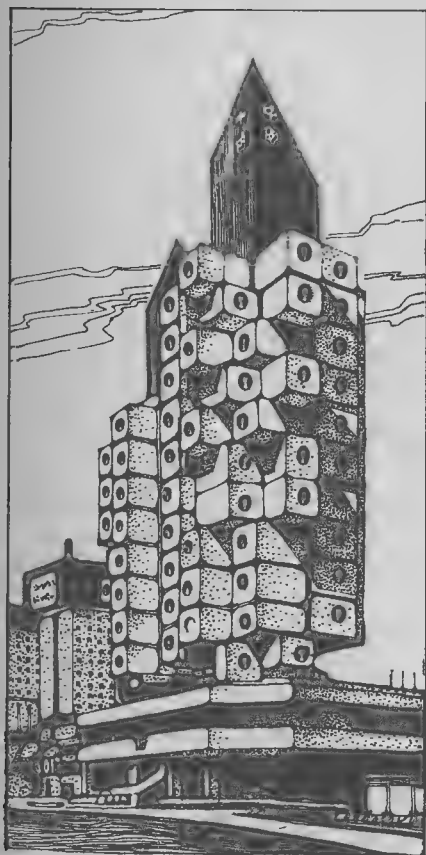


Рис. 1. Архитектурный стандарт: "Накагин Тауэр", Япония. Архит. Н. Курокава. Здание строительной фирмы во Флоренции, 1970-е гг. Общий вид здания, элементы

Пришлось увеличить число типовых проектов и организовать их серийный выпуск, создавая для каждого из них или только свой, или несколько видоизмененный набор деталей. В результате значительно увеличилось и число типовых деталей, что, с одной стороны, позволило сделать массовую застройку менее однообразной, с другой — менее экономичной. С разработкой планировочных вариантов квартир, ростом требований, предъявляемых к архитектуре, совершенствованием технологии производства и конструирования стандартных элементов зданий формировалось новое направление. Оно подразумевало обратный ход по сравнению с предыдущим методом типового проектирования — проектировать не типовые дома, а типовые детали, из которых можно было получить различные варианты зданий ("открытая" система проектирования). Большое значение здесь имела межвидовая унификация — выявление сходных закономерностей и параметров различных типов жилых домов и зданий культурно-бытового назначения. В Москве этот процесс завершился созданием "Единого каталога унифицированных индустриальных изделий". Из деталей, включенных в этот каталог, уже начали монтировать жилые дома. Появление каталога сделало возможным конструирование стыков панелей, позволяющих одни и те же панели применять и в каркасных зданиях, и в зданиях с поперечными несущими стенами.

Открытая система типового проектирования родилась в Советском Союзе давно. Еще в 1920-х гг. группа



архит. М. Гинзбурга проделала большую работу по разработке принципов индустриализации и типизации жилищного строительства. В частности, именно ею был поставлен вопрос о необходимости типизировать не сами дома, а стандартные элементы. Последние должны обладать максимальной вариантностью, а их сочетания — давать разнообразные формы жилых зданий.

В 1930 г. известный советский теоретик градостроительства Н.А. Милютин в своей книге "Соцгород" писал: "Советский населенный пункт должен быть чистен и прост в своих формах, как чистен и прост рабочий класс; разнообразен, как разнообразна жизнь; стандартны должны быть лишь части, из которых создаются здания, а не сами здания; экономичен в затраченном материале и обслуживании, а не в пространстве и объеме; радостен, как радостна природа. Наконец, он должен быть удобен, светел, гигиеничен" [1].

В высказывании Н.А. Милютина заложена мысль значительно более широкая, чем поставленный нами здесь вопрос, но она связывает его посредством стандарта с целью архитектуры. Именно всем этим предъявляемым к архитектуре основным требованиям и должен отвечать стандарт. Добавим лишь, что наше время

дополнило их, и в итоге задачи стандарта заключаются в следующем:

соответствовать всем необходимым функциональным изменениям — планировочной системе домов, квартир и других помещений, отвечающих динамике демографического состава населения;

обеспечивать удобство и комфорт проживания; учитывать размеры обычной мебели, координировать форму и размеры встроенной мебели, кухонного оборудования;

считаться с требованиями освещенности и акустики; быть технологичным и экономичным в производстве, в процессе транспортировки к месту строительства и монтажа на строительной площадке;

удовлетворять санитарно-техническим, гигиеническим и противопожарным требованиям;

способствовать формированию красоты зданий и их комплексов.

Все эти свойства должны быть заложены в каждом элементе здания, сделанном из железобетона. А ведь во время монтажа его нельзя изменить — ни по форме, ни по размерам, как, например, режущиеся деревянные и металлические конструктивные элементы. Железобетонный элемент должен быть сконструирован и изготовлен на заводе точно и "знать" свое место в конструктивной системе здания.

СИСТЕМА МОДУЛЬНОЙ КООРДИНАЦИИ

Чтобы строительные элементы из железобетона соответствовали выполняемой ими задаче, специалисты разработали систему модульной координации. Ее можно охарактеризовать как процесс координирования, совмещения дискретности стандартных элементов зданий с дискретностью жизни, материализующейся в архитектуре.

Представьте себе пальто, на котором пуговицы пришиты не на уровне петель. В лучшем случае мы можем застегнуть пальто на одну пуговицу, рискуя при этом нарушить гармонию своего туалета. Во избежание такой ситуации в стандартизации приводятся в соответствие форма и планировочные размеры помещений с формой, размерами и другими параметрами индустриальных изделий на основе единого модуля — своеобразной индустриальной системы измерения.

В советских нормах, в рекомендациях Постоянной комиссии по строительству СЭВ, модульной комиссии Международного совета по строительству и в стандартах, принятых СЭВ, установлен модуль, равный 10 см. Все размеры помещений и индустриальных изделий должны быть кратными модулю 10 см. Проще говоря, они должны делиться на модуль без остатка. Для удобства проектирования приняты также укрупненные модули, формирующие две группы последовательного удвоения. Первая группа: $3M=30$ см; $6M=60$ см, $12M=120$ см; вторая группа $15M=150$ см, $30M=300$ см, $60M=600$ см. При проектировании же малых размеров и мелких конструктивных элементов (толщина стен, ширина столбов и т.д.) назначается модуль, равный 5 см ($1/2M$).

Практический, архитектурный смысл модульной координации заключается в том, чтобы, применяя индустриальные изделия, обеспечить минимальные их отклонения от задаваемых в архитектуре планировочных размеров и норм. Предположим, что комната по нормам должна иметь ширину (в осях стен) 243 см. Это число не делится без остатка на 10 и не кратно никакому из установленных модульных параметров. Но 240 или 250 см кратны модулю. Корректировка происходит в пределах 10 см, т.е. принятая модульная система очень "гибкая", с большой степенью приближения к задаваемым планировочным параметрам.

Здесь возникает другая, не менее сложная проблема — рост количества типовых изделий с повышением вариантности архитектурных форм. В идеале нужно стремиться к минимуму типовых изделий, но не за счет снижения планировочных и эстетических качеств архитектуры. Если типы изделий будут следовать градации хотя бы в 10 см, то их появится такая масса, что заводы не сумеют осилить их производство. Не всегда и нужна такая точность. Многие изделия употребляются редко, а их производство требует специальных машин или особых нестандартных приспособлений к машинам. Вот почему и вводятся укрупненные модули.

Разработке системы укрупненных модулей предшествовала большая и кропотливая работа по отбору типовых, наиболее часто встречающихся архитектурно-планировочных решений. Это позволило в целом предотвратить прогрессирующий рост модульных размеров конструкций. Однако в пределах каждого модульного размера растет число так называемых типоразмеров и марок. В типоразмерах в пределах одних и тех же габаритов учитываются конструктивные изменения деталей (толщина панелей, конструкции стыков и т.д.), соответствующие положению, например, одинаковых по размерам панелей в структуре здания: в середине, в торцах, около лоджий, в зоне поворотов, выступов (ризалитов), окон, дверей и т.д. В марках же отражается различие в системе армирования или количестве арматуры, в размещении отверстий для пропуска коммуникаций, расположении закладных деталей для сварки и т.д.

При "открытой" системе проектирования, например, на основе планировочного модуля $3M=30$ см для проектирования панельных зданий потребовалось бы 236 координационных модульных размеров основных панелей и около 2000 марок. В случае же применения $1M=10$ см, их число увеличилось бы, соответственно, до 1500 и 12 000 шт. Поэтому для сокращения типоразмеров необходим дальнейший отбор предпочтительных размеров. Но размер шага должен быть таковым, чтобы в результате деления его перегородками получались комнаты хороших пропорций. Крупный шаг несущих стен не способствует пластике объемов зданий и их фасадов, что можно компенсировать "шарнирами" — межсекционными соединительными вставками.

Вариантность архитектурных решений зависит и от выбора модульной сетки — квадратной, подобной миллиметровке, подчиненной одному модулю, или прямоугольной, разномодульной по вертикали и горизонтали. Используется и комбинирование модульных сеток — наложение их одна на другую, что в определенных сочетаниях дает непрерывный ряд модульных размеров. Например, при двух координируемых модульных размерах 120 и 150 см их сочетание, начиная с 360 см (критической точки), приводит к возникновению непрерывного ряда, кратного $3M$: 360; 390; 420; 450; 480; 510; 540; 570; 600.

Модульная координация формирует самые различные пропорциональные соотношения, кратные соотношениям чисел 2:1; 3:2; 4:3, квадраты этих соотношений и другие их производные. Из чисел, кратных модулям, можно составить пропорциональный ряд Фибоначчи (см. гл. IV, с. 100).

Рассмотренные пропорциональные отношения обнаруживаются в шедеврах архитектуры. Они применялись зодчими интуитивно или сознательно. Например, простыми отношениями чисел оперировал математик и архитектор Франсуа Блондель, построивший известные триумфальные ворота Сен-Дени в Париже (1672). Исследования древнерусских памятников архитектуры также обнаружили простые отношения чисел. Многие исследователи утверждают, что пропорции греческого храма Парфенона подчиняются золотому сечению и т.д.

Возникает вопрос: в чем же тогда проблема стандарта? Можно сказать, что она уже решена. Вариантность налицо, гармонические пропорциональные ряды также заложены в действующей модульной системе — остается только строить удобные и красивые дома. Однако что-то не очень часто это получается! До сих пор мы не можем выбраться из заколдованного круга однообразия, хотя успехи здесь несомненны и учеными много сделано в области модульной координации.

По проблеме вариантности стандарта необходимо сказать следующее.

Начнем с "конца", с проблем гармонии и красоты формы. Мы не сомневаемся в том, что из различных сочетаний модульных размеров можно вывести гармонические ряды. Но пока в системе модульной координации они находятся в скрытом состоянии, грубо выражаясь, перемешаны: одна система пропорций не отделена от другой. В таком же состоянии они находятся и в построенном здании — в случайных сочетаниях, в хаосе. Так, лицо человека может состоять из очень красивых частей (красивые нос, глаза, губы), а в целом быть некрасивым и даже уродливым. Почему? Да потому, что каждая отдельная его часть живет по своим законам красоты, а все вместе они не гармонируют, не подчиняются закону красоты целого. Думается, дальнейшая работа над проблемой модульной координации должна включать в себя составление гармонических рядов размеров изделий. Тогда мы получим гармонию целого, т.е. здания, что даст возможность перейти от гармонии зданий к гармонии комплекса.

Однако хорошо найденные пропорции не исчерпывают художественно-эстетических поисков в архитектуре. Красота архитектурной формы характеризуется и другими эстетическими параметрами: пластичностью, выразительностью, динамичностью, образностью и т.д., выражаемыми не только пропорциями, но и другими гармоническими закономерностями — характером формы, симметрией, асимметрией, тектоникой и т.д. Поэтому при создании индустриальных изделий необходимо учитывать и эти факторы, если мы хотим, чтобы архитектурные формы были эстетически выразительными.

Отметим еще один недостаток системы модульной координации: она абстрактна, безотносительна к параметрам человеческой жизни. Это выражается в числе 10 — отправном модуле и его производных. Какое отношение оно имеет к нашей жизни? Почему не 4, не 8, не 12? Получается фетишизация числа 10, целиком и полностью основанная на удобстве деления чисел. Далее, модульная сетка дает основу лишь для построения прямоугольных, квадратных и кубических форм, определяемых прямым углом. Но сложная жизнь человека не может этим ограничиться. Доказательством служат криволинейные дорожки, которые прокладывает человек, когда его не связывают прямыми углами. Модульные размеры не согласованы ни с психофизиологией человека, ни с его биологическими ритмами.

Попытка согласовать стандарт в архитектуре с человеческими параметрами была осуществлена известным французским архитектором Ле Корбюзье на основе созданного им Модулора, о чем уже говорилось.

И все-таки эта отнесенная к человеку модульная система не нашла широкого применения на практике, потому что она ограничена лишь пропорциями (да и то не всеми) и не связана многочисленными требованиями, предъявляемыми к архитектуре, о которых мы говорили. Кроме того, Ле Корбюзье взял за основу человека ростом 183 см, что в известной степени случайно. Производные модули мало соответствуют женскому росту. Отсюда скоординированное с Модулом кухонное оборудование, мебель и т.п. неудобны для женщин.

Модуль в системе архитектурного стандарта должен быть величиной, соотносимой с архитектурой в широ-

ком смысле слова (включая человека, технику, индустриализацию, взаимосвязь с природой и т.д.). Основным качеством модульной системы должна стать гибкость по отношению ко всем параметрам, отражающим задачи архитектуры. Модульная система должна быть заложена не только в размерной сетке, но и в различии форм стандартных элементов — не только плоских и прямоугольных (около прямоугольных элементов komponуются только прямоугольные формы), но и сложных, пространственных, с учетом положения этих элементов в пространстве, порядка сборки и конструирования узлов, обеспечивающих разнообразные сочетания и т.д. Использование в архитектуре стандартных элементов с пространственными формами может дать живописные и пластичные композиции.

Мы уверены, что стандарт может и должен стать организующим элементом архитектуры, соединяющим в гармоническое целое все ее элементы и сообщаящим ей красоту.

СТАНДАРТНЫЙ ЭЛЕМЕНТ И ЕГО КОМБИНАТОРНОСТЬ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

В живой природе стандартность и комбинаторность служат проявлением единства дифференциации и интеграции форм.

В живой природе встречается повторяемость элементов (своеобразный стандарт) и их сборность в полном смысле слова. Поэтому с полным основанием живую природу можно назвать индустриальной. Технология ее индустрии является образцом правильной и экономичной технологии для архитектуры и строительства.

В процессе роста организм "собирает" себя по элементам, которые могут настолько тесно срастаться, что с трудом при ясности очерченных границ элемента можно разобрать принцип их стыковки. Но не всегда так.

Учитывая, что "стандарт — основа сборности и индустриальности", мы будем исследовать повторяемые элементы природы, не задаваясь особой целью выяснения степени их сборности, но обращая на это внимание в тех случаях, когда это возможно.

В живой природе повторяемость однотипных элементов начинается с атома, молекулы клетки, вплоть до более крупных элементов организма. Этот феномен природы постоянно у нас перед глазами: лепестки цветов, чешуя рыб и древесных шишек, гены, из которых собраны хромосомы, междоузлия — "колена" стеблей и травинки и т.д. (рис. 2).

Одним из основных и достаточно осязаемых элементов живой природы является клеточка — этот, по выражению К.А. Тимирязева: "... кирпич, из которого выведено здание растения" [2] и других организмов.

Сборный стандарт в архитектуре является эффективным средством экономии сил и времени и средством композиции в творческом процессе. Объективно он изменяет систему конструирования и воздействует как на объемно-планировочную структуру зданий, так и на их внешние формы.

Повторяемость однотипных элементов в живой природе лишь функциональна. Она связана как с необходимостью выживания и экономии времени и энергетических ресурсов, так и с продолжением рода — размножением. Об этом писал Гёте по отношению к растениям: "Вырастая от узла к узлу, растение повторно производит одинаковые звенья своего тела, с каждым шагом завершает свой круг и снова начинает ...", в этом обнаруживается, по мнению Гёте, как бы "бесконечная способность растения размножаться, что легко наблюдать, размножая иву с помощью отрезанных побегов" [3].

В живом мире по аналогии с архитектурой повторяемые элементы образуют функционально-физиологическую и конструктивную структуру организма. Повторяемость проявляется одновременно и во внешней форме

и как всякая функция или сторона содержания живого мира благодаря своей последовательности и закономерности воспринимается как объективный закон гармонии, переживается и осваивается нами эстетически.

Изучение повторяющихся элементов живых форм и использование их в архитектуре может идти по разной методике. Мы предполагаем рассматривать повторяющиеся элементы с точки зрения их формы и системы взаимного размещения в структуре организма, а также в пространстве, считая, что элементы живого организма подчиняются тем же принципам конструирования и образуют те же тектонические формы, что и организмы в целом: здесь в малом, как в капле воды, отражается весь живой мир. А о конструктивных формах последнего мы еще будем вести разговор.

Повторяющиеся элементы живого мира могут быть плоские (вернее, относительно плоские), в которых ширина и длина значительно превышает их сечение, и пространственные, подразделяющиеся на замкнутые и открытые, развивающиеся как строго геометрически, так и по сложным, пока математически необоснованным законам криволинейных поверхностей, симметрично и асимметрично.

Среди плоских фигур в природе встречаются окружности, правильные выпуклые многоугольники (различных видов), вогнутые многоугольники и в том числе звездчатые, а наряду с этим самые нерегулярные формы¹.

Пространственные фигуры представлены цилиндрами, призмами и многогранниками — правильными и неправильными и значительно более сложными образованиями.

Для архитектурной бионики в плане проблемы стандартизации очень важно изучение сочетаний элементов как на плоскости, так и в пространстве. Этот вопрос нашел уже свою проработку в теории архитектуры, в искусстве и математике². Но его рассмотрение в основном было подчинено эстетическим или математическим задачам. Нам же хочется взглянуть на него с архитектурных позиций: использования в архитектуре повторяющихся форм не только с точки зрения их красоты, но и практической значимости.

Прежде всего, о компоновке элементов в плоскости.

Плоскость, по существующим данным науки, равномерно и плотно во все стороны может быть заполнена лишь тремя правильными многоугольниками: шестиугольником, треугольником и квадратом, т.е. лишь теми многоугольниками, у которых углы кратны, а сумма углов в стыковых точках равна 360° . Другие правильные геометрические фигуры, в том числе и окружность, оставляют зазоры.

В природе мы встречаем сочетания правильных многоугольников. Особенно они правильны у морских организмов, подобных радиоляриям (далее мы объясним это явление).

Однако плоскость останется также плотно заполненной указанными многоугольниками в виде эластичной решетки, если мы окажем с двух сторон механическое давление на их расположение. В результате из правильных шестиугольников возникнут вытянутые шестиугольники, из квадратов — ромбы (ромбическая решетка может быть образована и из правильных шестиугольников путем деления их на три части, и из правильных

треугольников в результате уничтожения перегородок между двумя соседними треугольниками). Плоскость можно плотно заполнить прямоугольниками и другими неправильными многоугольниками. Однако такое заполнение не будет равномерным с точки зрения равенства углов (направлений сторон фигур) и сторон многоугольников. Но подобные заполнения мы также встречаем в природе.

Изотропно, т.е. гомогенно (однообразно) с точки зрения линейной и угловой структуры, плоскость могут заполнить лишь правильные треугольники, образующие триангулярную решетку. Этот тип решетки, правда, несколько сферический, также обнаруживается в природе, например среди морских организмов — амфоридий, названных так за свою схожесть с греческими амфорами (рис. 3).

Приведенные примеры доказывают, что в живой природе наряду с очень сложными, не поддающимися пока математической оценке существуют вполне знакомые нам повторяющиеся правильные геометрические фигуры, что на данном этапе индустриализации строительства особенно для нас ценно. Как мы увидим, правильная форма этих фигур обусловлена действием механических сил природы.

Обращая на себя внимание часто встречающихся в природе (и в одичавшей, и в своих собственных сочетаниях) правильный или несколько деформированный (сплюснутый) шестиугольник и шестиугольная призма. Эти формы в живой природе образуются из цилиндрических форм. Например, у растения давление сока в эластичных трубчатых сосудах, равномерно распределяясь во все стороны, придает им цилиндрическую форму. Если бы сосуд был единственным в пространстве, он, может быть, так и остался бы цилиндрическим. Но поскольку сосудов множество, да еще окружены другими плотными телами, то они, стремясь заполнить все пространство внутри замкнутого контура, превращаются в шестигранники (по краям могут возникнуть элементы иной формы. Примером может служить ткань паренхимы кукурузы).

Наглядно этот процесс в лабораторных условиях выглядит следующим образом. Возьмем несколько резиновых колец. Расположим их на плоскости так, чтобы каждого кольца касалось шесть других колец (центры окружностей каждого параллельного ряда сбиты по вертикали на радиус окружности), а линии, соединяющие центры последних, образовывали бы правильный шестиугольник. Окружности покрывают плоскость с зазорами. При постепенном сжатии окружностей равномерными усилиями со всех сторон зазоры между ними исчезнут и окружности превратятся в правильные шестиугольники. Площади шестиугольников останутся равными площадям кругов, а площадь покрытия уменьшится. То же самое произойдет, если мы этот же опыт сделаем с резиновыми трубочками — в результате образуются правильные шестигранные призмы.

Но при этом, как уже говорилось, появляются не только шестиугольники и шестигранники. С двух противоположных сторон, там, где ряд окружностей идет ровно, образуются пятиугольники и пятигранники, с других же двух сторон периметр многоугольников и грани многогранников, стремясь заполнить пустоту, возникшую между сжимающимися планками и неровными здесь краями окружностей, становятся чуть дугообразными (рис. 5). В живой природе, конечно, все

¹ Под правильными многоугольниками понимаются такие, у которых углы, вершины и стороны равны. Таким образом, вогнутые и звездчатые многоугольники не могут быть совершенно правильными.

² Сюда нужно отнести работы известного русского кристаллографа Е.С. Федорова (1853—1919), немецкого математика Г. Вейля, А. Цейзинга, М. Гика и др.

¹ Если сжимать кольца, размещенные на поверхности, когда их центры образуют квадратную решетку (центры в параллельных рядах не сбиты по вертикали), то они превратятся в квадраты.



Рис. 2. Природные формы, состоящие из сборных стандартных элементов, — еловые шишки

Рис. 3. Амфорида — морской организм (изотропное заполнение поверхности треугольниками и шестиугольниками)

происходит несколько сложнее. Композиции или группы многогранников — квадратные или прямоугольные по габаритам — встречаются редко. Силы действуют прежде всего изнутри цилиндров (рост в живых организмах идет изнутри наружу), встречая сопротивление эластичной и вязкой среды, которая отвечает обратно направленным действиям. Давление жидкости и газов, температуры способствуют установлению равновесия.

Однако простейшая искусственная модель дает результаты, очень близкие к натурным, что доказывает возможную эффективность моделирования в архитектурной бионике.

Пчелиные соты также состоят из шестигранников, обращенных внутрь друг к другу под углом $109^{\circ}28'$. Их форма возникла тем же путем. В образовании шестигранников сот, по-видимому, большую роль сыграли движение в них пчел и давление изнутри жидкого меда.

Несколько иначе рождается покрывало грибка "Дама с белым покрывалом", сотканное из напряженных тургором волокон в виде сетки, состоящей из шестиугольников.

Модель этого процесса такова. Если взять кольцо из тонкой проволоки или нейлоновой нити, прикрепить к нему на равных расстояниях в шести точках растяжки из таких же нитей и начать равномерно во всех направлениях растягивать, то образуется устойчивый равносторонний шестиугольник. Сумма таких растянутых повторяющихся многоугольников даст сеть — легкую конструкцию, все тросы которой работают на растяжение.

Возникшие в каких-либо условиях правильные шестиугольники или шестигранные призмы, составленные вместе, обеспечивают при одной и той же площади основания, по сравнению с другими правильными многоугольниками и призмами одинаковой высоты, экономию в покрытии поверхности. И, одновременно, если площадь плотно покрыть равным числом равновеликих по площади правильных нитяных многоугольников, то наименьшая общая длина образованной решетки будет в случае покрытия плоскости шестиугольниками. Если же взять в таком же положении одинаковой высоты призмы, то, следовательно, при шестиугольной призме будут меньшими и затраты материала на перегородки — диафрагмы.

Этот факт науке давно известен, причем основой для исследования и выводов послужила, по-видимому, живая природа — пчелиные соты. Интересно выяснить соотношения затрат материала на перегородки-диафрагмы в композициях из различных правильных многоугольников и, в частности, насколько шестиугольник и шестигранная призма экономичнее других фигур. Кроме того, интересно было бы знать, в каких именно композициях эта экономия соблюдается и где ее пределы. Исследование этих моментов было бы очень полезно для архитектуры.

Вначале исследуем соотношение периметров у взятых отдельно одинаковых по площади фигур: окружности с радиусом r правильного треугольника, квадрата, правильного шестиугольника¹. Соответственно обозначим их площади и периметры:

* Этот угол впервые определил Маральди в 1712 г.

¹ Как уже говорилось, многоугольники с числом сторон более шести, а также пятиугольники не покрывают плотно поверхность, поэтому мы их не стали исследовать; окружность же взяли как предельный вариант каждого многоугольника.

Таблица 1. Соотношение параметров равных по площади фигур: окружности, правильного треугольника, квадрата, правильного шестиугольника

Фигуры	Число сторон	Стороны фигур, выраженные через радиус окружности	Длина окружности и периметры фигур, выраженные через	Отношение периметров к длине окружности	Распределение мест по экономичности показателей периметров
Окружность	—	$l_0 = r$	$l_0 = 2\pi r = 6,28r$	1	1
Треуголь-	3	$a = 2,6r$	$P_3 = 7,8r$	1,24	4
Квадрат	4	$b = 1,77r$	$P_4 = 7,08r$	1,13	3
Шестиуголь-	6	$c = 1,1r$	$P_6 = 6,6r$	1,05	2

S_0, S_3, S_4, S_6 ; l_0, P_3, P_4, P_6 (табл. 1).

Из условия $S_0 = S_3 = S_4 = S_6$. Это дает нам возможность выразить стороны всех многоугольников через радиус r взятой окружности.

В окружности: $S_0 = \pi r^2$ и $l_0 = 2\pi r$.

В правильном треугольнике со стороной a выраженная через a площадь равна: $S_3 = a^2 \frac{\sqrt{3}}{4}$.

Но $S_3 = S_0$ и $a^2 \frac{\sqrt{3}}{4} = \pi r^2$; $a^2 = \frac{4\pi r^2}{\sqrt{3}} = \frac{4\pi r^2}{1,73}$,

$$a = \frac{2r\sqrt{\pi}}{\sqrt{1,73}} \text{ или } [a \approx 2,6r].$$

В квадрате со стороной b $S_4 = b^2$, но $S_4 = S_0$ и $b^2 = \pi r^2$, $b = r\sqrt{\pi}$ или $[b \approx 1,77r]$.

В шестиугольнике со стороной c $S_6 = c^2 \frac{3\sqrt{3}}{2}$, но $S_6 = S_0$ и $c^2 \frac{3\sqrt{3}}{2} = \pi r^2$; $c^2 = \frac{2\pi r^2}{3\sqrt{3}} = \frac{2\pi r^2}{3 \cdot 1,73}$, откуда $c = r \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{5,19}} = r \frac{1,41 \cdot 1,77}{2,28}$ или $[c \approx 1,1r]$.

Найдем периметры сторон для каждой фигуры путем умножения на число сторон. Получим следующие показатели: $l_0 = 6,28r$; $P_3 = 7,8r$; $P_4 = 7,08r$; $P_6 = 6,6r$.

Если мы сравним периметры трех правильных многоугольников с длиной окружности, то они все окажутся больше последней, причем места распределяются следующим образом: на втором месте — шестиугольник, на третьем — квадрат и на четвертом — треугольник. В численном отношении периметр шестиугольника будет в 1,05 раза больше, чем длина окружности; периметр квадрата — в 1,13 раза; треугольника — в 1,24 раза.

Но картина значительно меняется при сочетании одноименных фигур на плоскости, при их комбинационной композиции в "плотных" упаковках.

Составим для эксперимента на основе каждой из взятых фигур композиции из 36 элементов, расположенных равным числом по горизонтали и по вертикали. Окружности могут быть взяты в двухкомпозиционном варианте, т.е. образующие своими центрами в одном случае шестиугольники, а в другом — квадраты.

При таком использовании фигур в наихудшем положении оказывается композиция из окружностей: сумма длин всех окружностей, входящих в композицию, — наибольшая (табл. 2). Наилучшие показатели у шестиугольников, затем у квадратов и треугольников.

Если мы представим себе 36 шестигранных комнат размерами, приведенными к $r=3$ м, составленных плотно вместе так, как было сделано в наших схемах, то экономия на периметре по сравнению с "кубическими" комнатами составит 14 м, а на 400 комнат (композиция 20x20) указанный метраж увеличится до 160 м. При принятой средней толщине перегородок, равной 20 см, и при высоте комнат 2,7 м (это одновременно и высота многогранников) получится экономия материала около 86,4 м³.

Таблица 2. Сравнительный подсчет длин диафрагм в плоскостных композициях на основе равных по площади окружности, правильного треугольника, квадрата и правильного шестиугольника при равном распределении фигур по длине и ширине

Фигуры, составляющие композицию	Число фигур в композиции	Число фигур в рядах по длине и ширине	Стороны фигур, выраженные через радиус окружности	Взятое к расчету число диафрагм (внутри и наружу)	Сумма длин диафрагм	Распределение мест по экономичности показателей длин и диафрагм
Окружность	36	6x6	r	36	226r	4
Треугольник	36	6x6	$a = 2,6r$	68	176,8r	3
Квадрат	36	6x6	$b = 1,77r$	84	148,68r	2
Шестиугольник	36	6x6	$c = 1,1r$	131	144,1r	1

На основании проведенного эксперимента в композициях из 36 фигур и повторения его в других численных вариантах мы вывели небольшую экспериментальную формулу для облегчения подсчета суммарного числа сторон шестиугольников, составляющих общую длину перегородок-диафрагм как внутренних, так и внешних.

Такая формула применима лишь для композиций, в которых число элементов по вертикали и по горизонтали равно.

Если число перегородок в композиции из правильных шестиугольников обозначить через N_p , то $N_p = 3n^2 + 4n - 1$,

где N_p — число шестиугольников в ряду, или, что то же самое в данной композиции число рядов.

Отсюда суммарная длина перегородок-диафрагм (L_6) может быть получена умножением приведенного выражения на c (или $1,1r$), т.е. на длину стороны шестиугольника и $L_6 = c(3n^2 + 4n - 1)$.

При умножении же этого выражения на высоту грани можно получить суммарную площадь перегородок-диафрагм, а на толщину перегородок в архитектурном объекте — строительный объем.

Подсчитанные значения N_6 и L_6 по формулам для последовательного арифметического ряда $n(2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, \dots, n)$ (табл. 3) дают возможность сделать для каких-то экспериментальных пределов важный для нас вывод, что суммарная длина диафрагм при одном и том же размера стороны шестиугольника с увеличением числа композиционных элементов замедляет темп своего роста.

Отношение суммарной длины расчетных диафрагм к сумме периметров всех составляющих композицию шестиугольников, взятых отдельно (или сумме их числа сторон), уменьшается, что легко проверить по табл. 3.

Эти выводы означают, что с увеличением числа шестиугольных композиционных элементов в какой-либо архитектурной композиции компактного типа будет повышаться и экономический эффект, связанный с экономией строительного материала.

Действительно, подсчитывая значение N_6 и L_6 при последовательном изменении n , принимающего значения чисел возрастающего арифметического ряда (2, 3, 4, 5, 6, 7, ..., n), получим возрастающие ряды: для N_6 : 6; 19; 38; 63; 94; 131; 174; 223; ...; $3n^2 + 4n - 1$; для L_6 соответственно: 6,6r; 20,9r; 41,8r; 69,3r; 102,4r; 144,1r; 191,4r; 245,3r; ...; $1,1r(3n^2 + 4n - 1)$, в которых отношения последующих членов обоих рядов к предыдущим с возрастанием рядов уменьшается: $19/6 = 3,16$; $38/19 = 2$; $63/38 = 1,66$; $94/63 = 1,49$; $131/94 = 1,39$; $174/131 = 1,33$ и т.д. для первого ряда и то же самое будет для второго, так как все его члены получились

Таблица 3. Изменение соотношения длин диафрагм с изменением числа композиционных элементов в композициях плотно собранных на плоскости правильных шестиугольников и квадратов с одинаковым числом рядов по вертикали и горизонтали при стороне квадрата $b=1,77$ и стороне шестиугольника $c=1,1$, где r — радиус одинаковой по площади с принятыми фигурами окружности

Число фигур в горизонтальных и вертикальных рядах	Число фигур, заполняющих плоскость	Композиция из шестиугольников		Композиция из квадратов		Отношение длин диафрагм квадратов к длинам шестиугольников
		число сторон, принятых к расчету длины диафрагм по формуле $N_6=3n^2+4n-1$, где n — число фигур в ряду	длина диафрагм по формуле $L_6=1,1r \times (3n^2+4n-1)$, где n — число фигур в ряду	число сторон, принятых к расчету диафрагм, по формуле $N_4=2n \times (n+1)$	длина диафрагм по формуле $L_4=1,77r \times 2n \times (n+1)$, где n — число фигур в ряду	
1	1-1=1	6	6,6	4	7,08	—
2	2-2=4	19	20,9	12	21,6	1,032
3	3-3=9	38	41,8	24	43,2	1,033
4	4-4=16	63	69,3	40	72	1,038
5	5-5=25	94	103,4	60	108	1,044
6	6-6=36	131	144,1	84	151,2	1,049
7	7-7=49	174	191,4	112	201,6	1,053
8	8-8=64	223	245,3	144	259,2	1,056
9	9-9=81	278	305,8	180	324	1,058
10	10-10=100	339	372,9	220	394	1,062
11	11-11=121	406	446,6	264	475,2	1,064
12	12-12=144	479	526,9	312	561,6	1,066
13	13-13=169	558	613,8	364	655,2	1,067
14	14-14=196	643	707,3	420	756	1,068
15	15-15=225	734	807,4	480	864	1,07
n	—	$3n^2+4n-1$	$1,1r(3n^2+4n-1)$	$2n(n+1)$	$1,77r \times 2n(n+1)$	$1,6 \frac{2n(n+1)}{3n^2+4n-1}$

из членов первого ряда путем умножения на один и тот же множитель $1,1r$.

Любопытно, что разность последующими и предыдущими членами ряда 6 дает, в свою очередь, ряд: 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49, ..., построенный по арифметической прогрессии, постоянный член которой $N_6=6$ ($19-13=6$; $25-19=6$ и т.д.). В ряду, производном от ряда N_6 , полученном таким же способом, что и предыдущий, имеющем вид: 14,3; 20,9; 27,5; 34,1 ..., постоянный член, полученный от разности между последующим и предыдущим членами ряда $m=6,6$. Но над этими вариациями необходимо еще специально подумать, чтобы сделать какие-либо практические выводы.

Возможно, что длина перегородок-диафрагм в композиции из квадратов, подобной композиции из шестиугольников с одинаковым числом фигур в горизонтальном и вертикальном рядах, с увеличением числа квадратов будет уменьшаться с еще большей скоростью, чем это происходит с шестиугольниками. И, в конце концов, квадратная композиция еще станет экономичнее, чем композиция из шестиугольников. Но, по-видимому, этого не произойдет.

Была сделана проверка (см. табл. 3) и построен график для небольшого диапазона чисел, но вряд ли эта тенденция изменится, во всяком случае в области рациональных и не бесконечно больших или бесконечно малых чисел. Проверка, однако, показала, что сравнительная экономичность компактных композиций из шестиугольников по сравнению с квадратными с ростом числа композиционных элементов возрастает¹. Решающим моментом здесь явился тот факт, что множитель b у N_4 , представляющий собой размеры стороны квадрата, равный $1,77r$, значительно больше множителя у N_6 — стороны шестиугольника c , равной лишь $1,1r$.

Отсюда наш небольшой подсчет кубатуры строительного материала, сделанный выше, необходимо скорректировать. При композиции $20 \times 20=400$ суммарная расчетная длина перегородок-диафрагм шестиугольников станет не на $14r$, а на $79,9r$ меньше того же показателя для квадратов. При $r=3$ м длина перегородок-диафрагм с 160 м дойдет до $239,7$ м, а сэкономленная кубатура строительного материала увеличится с $86,4$ до $129,4$ м³.

Однако и в композиции из квадратов с ростом числа ее элементов темпы прироста расчетной длины диафрагм и отношение последних к сумме периметров (или сумме числа сторон) отдельно взятых квадратов, так же как и в композиции из шестиугольников, уменьшаются (см. табл. 3). Следовательно, она тоже становится более выгодной с увеличением входящих в нее фигур.

Но для разных композиций существуют и разные законы.

Стоит нам взять композицию из тех же правильных фигур и в том же количестве — 36 в виде цепочки, как все выведенные нами закономерности для "компактной" композиции становятся недействительными.

В цепочке самым экономичным с разбиваемых нами позиций становится треугольник (табл. 4). Наиболее выигрышен он и по плотности заполнения поверхности — вся композиция из треугольников имеет наименьшую длину. В самом худшем положении снова оказались окружности.

На основании проведенного небольшого анализа мы можем сделать некоторые выводы. Со всей убежденностью нужно сказать, что нет никакой пользы и никакого смысла абсолютизировать качества какой-либо одной фигуры: пятиугольника, шестиугольника, квадрата и т.д., а также попытки в истории архитектуры и в современной архитектуре были и есть. Правильнее исходить из возможных ситуаций с учетом принимаемого построения и числа используемых стандартных элементов. Именно так поступает природа. Она применяет те или иные формы и их сочетания там, где это нужно и когда нужно. Поэтому мы видим такое разнообразие форм в природе, хотя и на основе все тех же известных нам фигур. Тщательный анализ комбинаций элементов в живой природе, сочетаемый с математическим анализом, позволит более коротким путем выявить преимущества одной композиции перед другой и особенно при сложных, криволинейных формах.

Кроме шестиугольников и шестигранников мы также очень часто встречаем в природе и другие фигуры, подобные окружностям и цилиндрам, треугольникам и треугольным призмам. Встречаются и квадратные формы.

Интересно, что в природе шестиугольные элементы нередко сочетаются с пятиугольными и не случайно, так как последние позволяют удачно завершить "неровные" края, образуемые шестиугольниками, и выйти ровной поверхностью к ровной поверхности в слоях

¹ Для подсчета числа расчетных диафрагм в случае квадратных композиций мы применили эмпирическую формулу $N_4=2n(n+1)$, а для подсчета длины диафрагм — формулу $L_4=1,77r \times 2n(n+1)$, где n — число фигур в ряду, или число рядов.

Таблица 4. Сравнительный подсчет длин диафрагм в плоскостных композициях "цепочкой" на основе равных по площади окружности, правильного треугольника, квадрата и правильного шестиугольника¹

Фигуры, составляющие композицию	Число фигур в композиции	Стороны фигур, выраженные через радиус окружности [*]	Взятая к расчету сумма диафрагм (внутренних и наружных)	Сумма длин диафрагм	Распределение мест по экономичности показателей длин диафрагм	Длина цепочки	Распределение мест по экономичности заполнения плоскости по длине
Окружность	36	$2\pi(6,28r)$	$36m^*$	226r	4	$U_0 = 36 \cdot 2r = 72r$	4
Треугольник	36	$a=2,6r$	73 ($2m+1$)	189,8r	1	$U_3 = 18a = 18 \cdot 2,6r = 46,8r$	1
Квадрат	36	$b=1,77r$	109 ($3m+1$)	192,9r	2	$U_4 = 36b = 36 \cdot 1,77r = 63,72r$	2
Шестиугольник	36	$c=1,1r$	180 ($5m+1$)	198r	3	$U_6 = 36\sqrt{3}c = 36\sqrt{3} \cdot 1,1r = 68,5r$	3

* m — число фигур в композиции.

¹ Фигуры составлены вместе в наиболее возможной компактной композиции.

тканей, или наружу, к свету (например, листовая пластинка). Удобно начинать радиальную композицию из шестиугольников плотными рядами, расходящимися от центра пятиугольника. В природе мы встречаем такие образцы.

При подсчете длины перегородок-диафрагм в композиции, составленной из 36 фигур по 6 фигур в горизонтальном и вертикальном рядах, в состав которых входят 24 правильных шестиугольника и 12 полуправильных пятиугольников (т.е. композиции, получившейся у нас в результате опыта с цилиндрами), оказалось, что длина диафрагм в этом случае та же, что и при композиции 6х6, полученной из одних лишь правильных шестиугольников. Она равна 144,3r. Следовательно, такая композиция также экономичнее, при прочих равных условиях, композиции из квадратов.

В современной архитектуре имеется тенденция оперировать структурами, составленными из крупных объемных элементов, развивающимися во всех направлениях и принимающими самые разнообразные очертания. Есть примеры использования и шестигранных элементов. Их нужно шире внедрять в практику и найти способы их применения в архитектуре, и особенно в компактных композициях.

Такие композиции, кроме экономического преимущества в затратах строительного материала, обладают также некоторыми конструктивными и композиционными преимуществами:

- 1) при стыковке шестиугольников получаются три угла, а не четыре, следовательно, в стыках необходимо соединять меньшее число элементов;
- 2) меньше потери тепла в связи с меньшей площадью ограждений;
- 3) большое разнообразие форм помещений, распланированных в пределах шестиугольника, легкое образование эркеров, лоджий (в частности, в жилищном строительстве) и т.д.;
- 4) психологически уравновешеннее воспринимаемая плавность развития внутреннего пространства комнат или других помещений;
- 5) большие удобства в расстановке мебели;
- 6) большая вариативность блокирования, облегчающая объемно-планировочные решения и возможность создания живописных композиций зданий.

Такие элементы с успехом могут найти применение и в других областях строительства, в частности в промышленном строительстве.

Однако шестигранные элементы имеют по сравнению с кубическими и некоторые недостатки. Например, у них большее число конструктивных элементов и их

стыковок. Поэтому возможно, что их выгоднее применять в монолитном железобетоне или монолитных пластмассах.

Мы начали с плоских повторяющихся элементов. Однако в живой природе значительно больше распространены сочетания стандартных элементов не на плоскости, а в пространстве. Частично мы об этом уже сказали при анализе компоновок из шестигранников.

Здесь опять-таки, стоит начать с плотной упаковки, но лишь пространственных элементов и, в частности, замкнутых выпуклых фигур-многогранников.

Заполнять пространство целиком без просветов можно одним лишь кубом (из числа правильных многогранников). Из полуправильных многогранников такую миссию выполняет ромбический додекаэдр (имеет 12 граней, 24 ребра и 14 вершин) и тетракайдекаэдр — многогранник Кельвина (акад. Е.С. Федоров в свое время назвал его гексапараллелоэдром).

Часто встречающийся в живом мире тетракайдекаэдр состоит из шести квадратов и восьми правильных шестиугольников. Получается он из октаэдра (правильного восьмигранника) путем отсечения его шести вершин плоскостями, проходящими через 4 точки, расположенные на сходящихся к вершинам ребрах, на удалении 1/3 длины этих ребер от вершины.

Тетракайдекаэдр дает возможность живой клетке развивать минимальную площадь перегородок на данный объем. Здесь мы сталкиваемся с явлением, аналогичным компоновке из правильных шестиугольников и шестиугольных призм. Кстати, в жизни этот многогранник образуется также сходным путем, но не из окружностей и цилиндров, а из сфер. Компоновку из тетракайдекаэдров можно получить путем сжатия или растяжения касательных друг к другу двенадцати сфер (предполагают, что они эластичны), концентрирующихся вокруг тринадцатой сферы и касательных к ней, когда их центры образуют кубооктаэдрическую решетку (многогранник, получающийся из куба и составленный из восьми правильных треугольников и шести квадратов).

Такая структура из тетракайдекаэдров возникает в процессе роста клеток растений в результате образования радиоларий из протоплазменных пузырьков (эту теорию развивает Д'Арси Томпсон) и т.д. Модель такого явления хорошо наблюдать на мыльных пузырях. Появляющиеся в этом процессе полярные напряжения придают упругость всей системе (рис. 6).

Композиция из элементов, равномерно заполняющих плоскость или пространство и развивающихся однообразно во всех направлениях, относится к самому

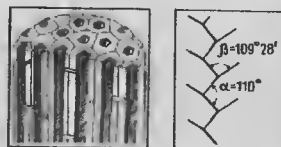
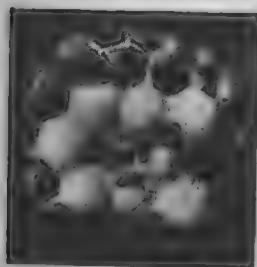


Рис. 4. Компонировка структур из шестиугольных призм
а — пчелиные соты; б — пучки
лубяных волокон льна; в —
стыковка шестигранников
пчелиных сот

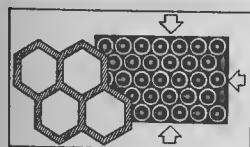


Рис. 5. Формирование плотной упаковки из эластичных цилиндров и превращение их в сотовую структуру

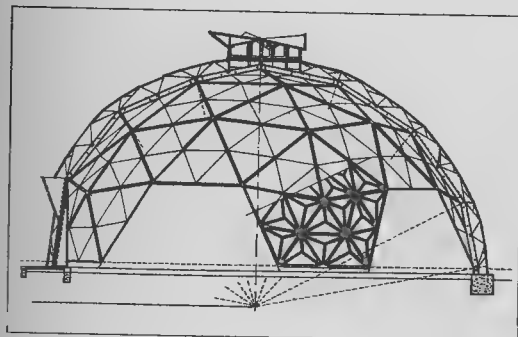
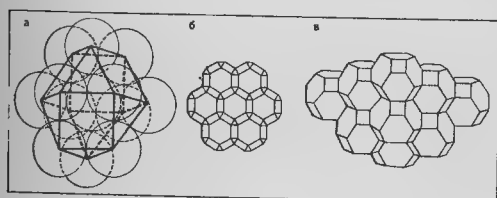


Рис. 6. Формирования плотных упаковок из эластичных сфер и образование тетракай-декаэдров (многогранников Кельвина)

Рис. 7. Купол Г.Н. Павлова из вспарушенных шестиугольников

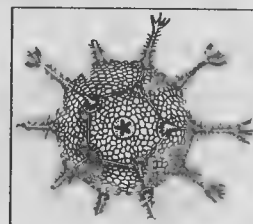
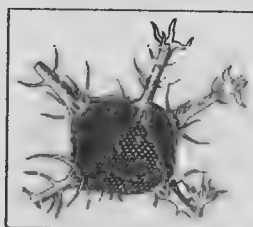
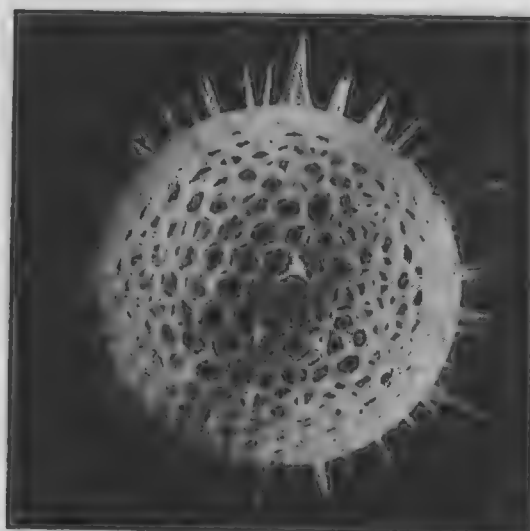


Рис. 8. Морской организм — "Гелиосфера Констанци"

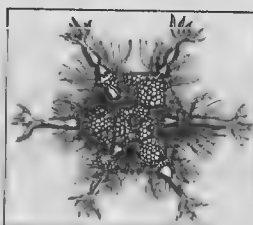


Рис. 9. Архимедовы тела, встречающиеся в живой природе
1 — октаэдр; 2 — додекаэдр; 3 — икосаэдр (по Геккелю)

сложному виду симметрии — орнаментальной. Молекулярная структура вещества характеризуется орнаментальной симметрией.

Сюда необходимо также отнести и компоновку из криволинейных "открытых" пространственных элементов, образующих поверхности типа сферических. Здесь есть много сходства с заполнением плоской поверхности; особое место занимают правильные шестиугольники, треугольники в собственных сочетаниях и в сочетаниях с другими геометрическими фигурами. Повторяющиеся природные композиции с успехом используются, и особенно в сферических поверхностях, архитекторами и конструкторами — Б. Фуллером, Ф. Отто, М.С. Туполевым и др. (рис. 7). Живая природа убеждает нас в том, что сфера не может быть образована правильными шестиугольниками и треугольниками и что к ним требуются некоторые дополнения. В природе мы видим сферы из сочетаний треугольников и квадратов, из правильных шестиугольников с включением семиугольников, шестиугольников и пятиугольников — радиолария, аулония-гексагона и т.д. (рис. 8).

Плотные сочетания отдельных видов правильных многоугольников образуют в природе также замкнутые правильные многогранники. Среди радиоларий,

описанных еще Геккелем в его "Челенджерской монографии", имеются построенные по законам правильных многогранников октаэдр — из восьми правильных треугольников, додекаэдр — из двенадцати правильных пятиугольников и икосаэдр — из двенадцати правильных треугольников (рис. 9). Надо сказать, что икосаэдр пока обнаружен лишь в живой природе.

Как правильные многоугольники, из которых составлены эти тела, так и сами тела представляют собой примеры групп собственных вращений.

Возможны различные сочетания, образующие не только выпуклые, но и выпукло-вогнутые многогранники, а также компоновки более сложной формы.

Размещение повторяющихся элементов природы в пространстве принимает самые различные формы. Сюда относится: повторяемость элементов вдоль прямой линии (междоузлия стебля растения) или вдоль ломаной линии, имеющей в целом прямолинейную тенденцию развития. И то, и другое принадлежит к типу переносной симметрии. Очень распространено радиальное расположение элементов с поворотной симметрией различного порядка (радиоларии, цветы) и другие более или менее сложные сочетания (рис. 10). Встречаются сочетания повторяемости по прямой линии (т.е. переносной симметрии) с зеркальной симметрией (подобная комбинация на языке биологии называется сериальной гомологией — позвоночник животных, побег с листьями, сколопендра) и с поворотной симметрией (початок кукурузы).

Снова мы сталкиваемся со спиралью (с плоской и пространственной) и с повторяемостью элементов по этой динамичной кривой.

Характерно, что наиболее живописные и фантастические формы в природе встречаются в случае их свободного развития в пространстве, а не в структуре "плотной упаковки".

В живой природе, конечно, редко встречаются два тождественно повторяющихся элемента, хотя они могут быть и очень сходны по форме и характеру (например, листья одного дерева). Предельная однотипность, доходящая до геометрической правильности, наблюдается в организмах, живущих в постоянной, мало изменяющейся среде. Это морские организмы, например радиоларии, тедуларии, феодалрии и т.д.

Можно столкнуться с настоящей сборностью и с решением узлов стыковок (колена стеблей), но при этом с отступлениями от однотипности элементов (рис. 11).

Повторяющийся элемент живой природы сообщает особую гармонию и ритмичность ее представителям. Вполне возможно, что имеет место также наличие "модуля" в каждой отдельной структуре, который объединяет, соразмеряет иногда самые неожиданные по характеру элементы одного и того же организма.

В повторяемых элементах природы отражена закономерность целого.

Стандартные элементы живой природы — клетки организмов, радиоларии (мельчайшие организмы водной стихии), пчелиные соты и т.д. — представляют собой результат двух взаимно дополняющих процессов: дифференциации (дробления) и интеграции (соединения). В целом стандарт в природе обеспечивает жизнеспособность и целесообразность существования организмов. Причем, природа оперирует небольшим числом типов геометрических форм, но она умело их комбинирует. Разнообразие в природе — способ приспособления к жизни. Однако не так уж много разнообразных сочетаний создала природа за свое многомиллионнолетнее существование. Проследим некоторые цифры: Млечный путь возник $3,1 \cdot 10^{17}$ — 10 млрд. лет. назад; Солнечная система существует $1,6 \cdot 10^{17}$ с — 5 млрд. лет; с момента возникновения дифференцированной жизни на Земле прошло $3,2 \cdot 10^{16}$ с — 1 млрд. лет.

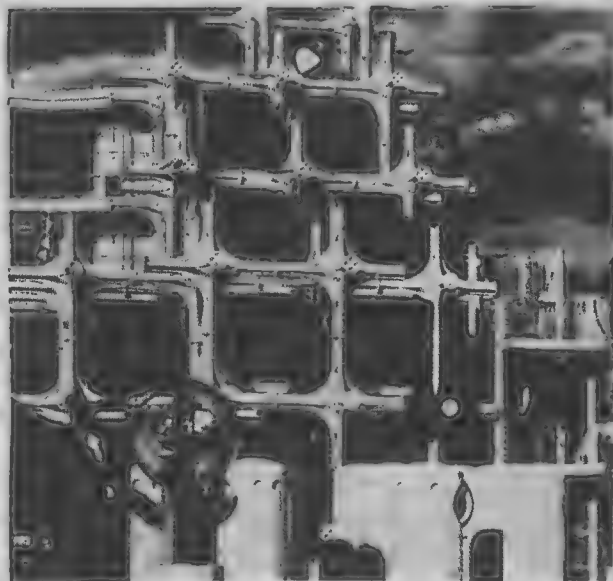
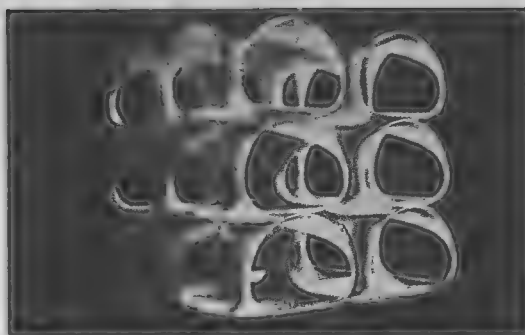


Рис. 10. Сложные виды сочетания стандартных форм в живой природе (а) и в архитектуре (б)

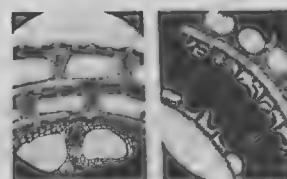
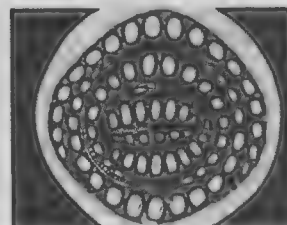


Рис. 11. Примеры стыковки междоузлий стеблей растений (а) и отдельных слоев стебля в поперечном срезе (б)

Тело размером в нашу солнечную систему состоит из $2200 \cdot 10^{60}$ числа атомов. Это не очень большие цифры. В типографском растре размером по горизонтали $100 \cdot 100 = 10\,000$ делений, оперируя лишь сочетанием белых и черных клеточек, можно получить $2^{10\,000}$ сочетаний (или 10^{3010}).

Если предположить, что в секунду живая природа создавала те же 10 000 вариантов атомов, что и наш типографский растр, то до настоящего времени она сделала не более и не менее как $3,2 \cdot 10^{20}$ вариантов.

Но стандарт в природе борется за жизнь организмов не числом, а умением. В природе действуют и такие

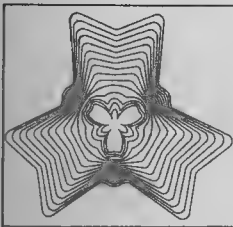


Рис. 12. Малые изменения стандартных элементов природной формы (а) и бионическое моделирование малых изменений на примере чашечки цветка горного лука (б)

принципы: чем меньше стандартный элемент, тем он более гибок: "малые" изменения форм значительно повышают их вариантную способность; в пределах

одного организма уживаются разнообразные по своей геометрии формы, плотно сомкнутые между собой (треугольные, пятиугольные, шестиугольные и т.д.). Но главное, по-видимому, не в количестве, а результативности сочетаний — в эффекте вариантности! Критерием же эффекте вариантности может быть лишь соответствие формы целесообразности существования организма (рис. 12).

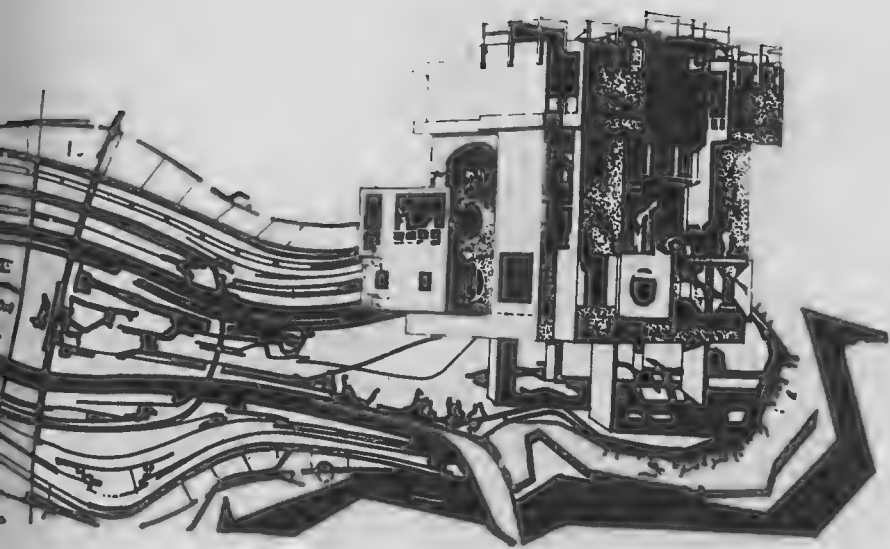
Так же и в архитектуре. Вариантность должна быть направлена на решение вопросов архитектуры, причем не только общих, но и конкретных, связанных с реализацией функциональных задач, местом строительства, национальными особенностями, эстетическими и другими требованиями. Такая целенаправленная вариантность, воплощающая принципы природной целесообразности, свойственна стандарту, который внедрил А.Т. Полянский при строительстве курортных комплексов на Кавказском и Крымском побережьях. "Рогатки" каркасов зданий подобно спикулам морской стеклянной губки позволяют варьировать форму в соответствии с функциональными и утилитарными задачами.

Еще одна интересная особенность проявления стандарта в живой природе: "конструкции" и "опорные системы" в виде пространственных решеток могут быть стандартными, как в мире радиолярий. Но живое вещество в них развивается по законам вида. Это позволяет органично взаимодействовать статичным и динамичным элементам. Между прочим такой принцип сейчас применяется в проектах многих архитекторов мира и уже осуществляется в натуре.



Глава 6

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ВОПРОСЫ
АРХИТЕКТУРНОЙ
БИОНИКИ
И ПРОБЛЕМА
ГАРМОНИИ
АРХИТЕКТУРНО-
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



РЕГУЛЯЦИЯ СРЕДЫ В ЖИВОМ МИРЕ

Исследования вопросов регуляции среды в живом мире дают материал для его непосредственного использования в градостроительных комплексах.

Устойчивость экосистем, внутривидовые отношения, процессы рождения и гибели организмов, темп и энергетика популяций существенно зависят от плотности популяции — отношения количества организмов к единице занимаемой ими площади или пространства.

В литературе имеется множество примеров влияния плотности популяции на плодородность особей, причем это влияние не связано с кормовой обеспеченностью. В частности, при высокой плотности популяции размножение может тормозиться из-за недостатка естественных убежищ или мест гнездования, яйцекладки и т.п. Например, у большой синицы при плотности меньше одной пары на 1 га на одно гнездо приходится 14 птенцов; когда же плотность достигает 12 пар на 1 га, выводок составляет менее 7 птенцов [4].

Среди факторов, влияющих на смертность, обычно рассматриваются независимые от плотности и зависящие от нее. При увеличении плотности ускоряется распространение инфекционных заболеваний и размножение паразитов, что приводит к увеличению смертности [6]. Интерес биологов привлекает природа так называемых шоковых заболеваний, которые возникают, если плотность популяции достигает некоторого критического уровня. Многие исследователи рассматривают шоковые заболевания как определенную приспособительную реакцию, возникшую в ходе эволюции и позволяющую предотвратить чрезмерные плотности популяции, за которыми могла бы последовать длительная депрессия или даже гибель популяции. В качестве непосредственной причины шоковых заболеваний обычно указывают перенаселение и недостаток кормов [4].

На смертность также влияют и другие факторы, в частности подвижность организмов, пол, возраст, а также катастрофические изменения физико-химических параметров среды обитания.

К проблематике устойчивости относится, в частности, изучение территориального поведения живых организмов.

Существо такого поведения заключается в следующем. В период занятия территории каждый участок ее имеет некий "центр", во все стороны от которого хозяин, занимающий этот участок, проявляет известное "давление", ослабевающее по мере удаления от центра. В результате территориального поведения отдельных особей граница между соседними территориями перемещается до тех пор, пока давление с обеих сторон не выровняется. Наглядная и более углубленная интерпретация этого явления отражена на рис. 13 [5]. Здесь показаны графические модели взаимодействия двух смежных бактериальных колоний при их контакте в культуре; в частности, при одинаковой скорости их радиального роста граница контакта является прямой (I); при постоянных, но различных скоростях роста граница контакта между взаимодействующими колониями является дугообразной (II—IV).

Анализ графических моделей позволяет также сделать следующие выводы: 1) при полном "поглощении" одной из двух смежных колоний обе колонии имеют форму круга; 2) чем больше расстояние между колониями, тем больше поглощенная колония "успевает вырасти"; 3) диаметр поглощенной колонии равен тому диаметру, который она имела бы, если полностью прекратила свой рост в момент соприкосновения со смежной колонией; 4) геометрический центр поглощенной колонии смещается от ее истинного (начального) центра на величину, равную половине ее радиуса.

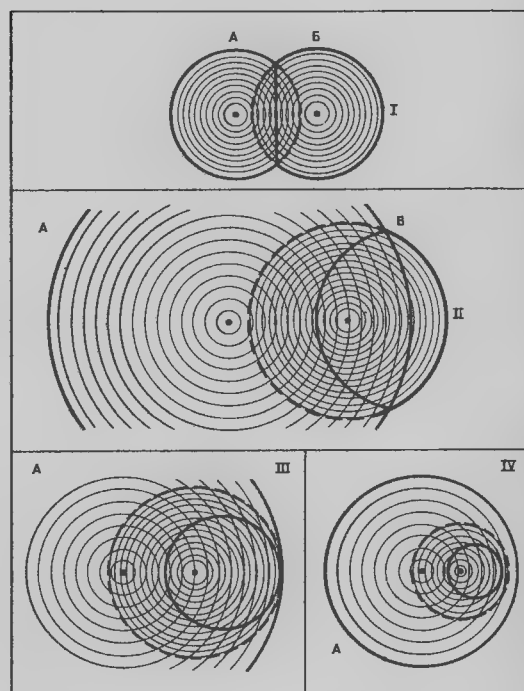


Рис. 13. Форма пространственного взаимодействия смежных бактериальных колоний А и Б (по В.В. Плотникову, 1979 г.)

I — скорости радиального роста колоний одинаковы; II—IV — скорости роста различаются вдвое; колонии находятся на разных расстояни-

ях одна от другой. Сплошной толстой линией показаны реальные границы колоний, пунктиром обозначено состояние границ при отсутствии взаимодей-

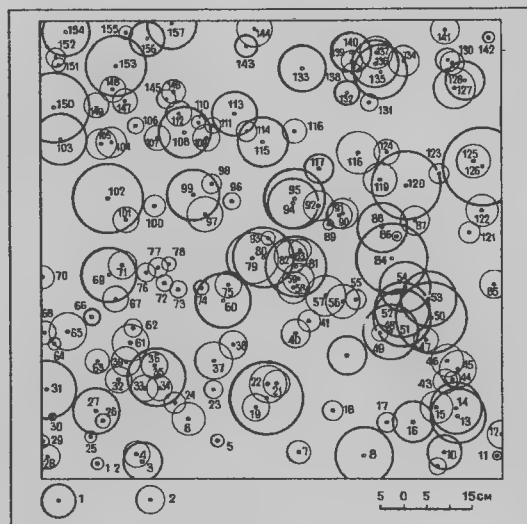


Рис. 14. Размещение годовых побегов хвощей на одной из экспериментальных площадок Ильменского государственного заповедника

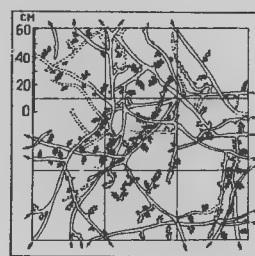
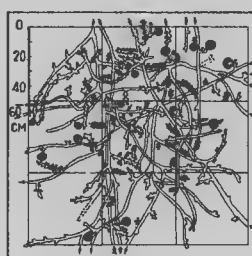
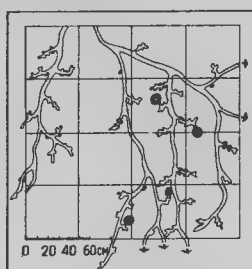
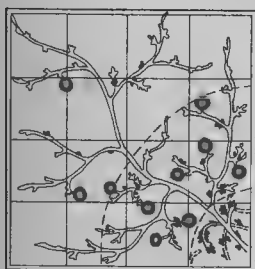


Рис. 15. Зоны территориального размещения корневищ папоротника-орляка
а — зона освоения; б — зона насыщения; в — зона дряхления

Рис. 16. Фрагменты схемы из разных зон территориального размещения корневищ особи орляка
а — зона освоения; б — зона насыщения; в — зона дряхления

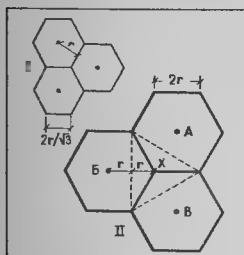


Рис. 17. Распределение территорий в двухмерном местобитании
I — одновременно занятые территории с минимальным расстоянием между центрами, равным $2r$; II — занятые территории с центрами в точках А, Б, В допускают занятия новой территории (границы указаны штриховой линией) с центром в точке X

В специальной литературе отмечается, что среди экологов распространены две точки зрения относительно функции территориального поведения. Некоторые ученые полагают, что эта функция выполняет роль регулятора численности живых организмов; другие считают, что она повышает вероятность отдельного организма выжить и оставить потомство.

Территориальное поведение проявляется у всех живых систем на каждом уровне их биологической организации. Некоторые функциональные особенности такого поведения можно проиллюстрировать следующими примерами.

Исследователями повсеместно отмечаются взаимосвязь выживаемости отдельных организмов и их удаленности от ближайших соседей того же вида. Например, проростки подорожника, которые возникают на близком расстоянии от укоренившихся растений подорожника, выживают реже, чем более удаленные [5]. Почти аналогичная ситуация возникает с гнездами большой синицы [4], которые при близком расположении одного к другому чаще подвергаются разорению. Интересны наблюдения, связанные с изучением влияния территориального размещения колоний микроорганизмов на их геометрические размеры. Так, колония фагов обладает наибольшими размерами (диаметром, площадью), если поблизости от нее нет других колоний. Размеры соседствующих колоний статистически значимо меньше размеров одиночных колоний, причем чем больше на занятой территории соседствующих колоний, тем меньше размеры каждой из них [4].

Одним из примеров территориального поведения растений является размещение микрогруппировок хвощей (рис. 14). Опыты показали, что при совместном размещении обоих видов хвощей взаимно сокращается их численность, увеличивается расстояние между побегами одного и того же вида, а также уменьшаются их средняя высота и вес. Результаты исследования сопряженности между побегами хвощей обоих видов указывают на случайный характер их сочетания в пределах наблюдаемой территории.

Беспорядочное размещение особей в пространстве — явление довольно редкое. Значительно чаще организ-

мам свойственно однообразное распределение в пространстве, возникающее при однообразии окружения и наличии острой конкуренции или антагонизма между ними.

Интересен пример территориального размещения папоротника-орляка — растения, широкого распространенного на всех пяти обитаемых континентах в разных климатических зонах. Для хорошо развитых особей орляка характерна определенная стратегия территориального поведения. Корни его распределены более или менее равномерно по всей системе корневищ. В итоге возникает сложная взаимосвязь над- и подземных органов.

В системе корневищ орляка обнаруживаются три зоны (рис. 15): освоения; насыщения и дряхления. Значительная часть пластических веществ расходуется на построение мощной системы быстро растущих магистральных корневищ, т.е. на активный захват жизненного пространства путем вегетативного разрастания. Зона максимального насыщения относительно невелика, зато отличаются наиболее мощным фотосинтезирующим аппаратом и как бы создают базу для быстрого роста магистральных корневищ в зоне освоения. Зона разрушения и дряхления составляет сравнительно небольшую часть особи и характеризуется плотным скоплением в подземном ярусе ценоза корневищ орляка. Эта зона долго удерживает пространство ценоза за особью и создает потенциальную возможность его повторного освоения. Это как бы резерв общей системы корневищ, длительная охрана уже занятой особью территории.

Образование скоплений организмов сопровождается некоторым усилением конкуренции особей за пищу и пространство, но это с избытком компенсируется рядом преимуществ. В группах особи нередко легче переносят низкие температуры, высыхание и другие неблагоприятные воздействия среды. Комплексное действие защитных механизмов группы особей часто обеспечивает выживание последних там, где защитные механизмы отдельных организмов оказываются недостаточными.

Одним из интересных примеров территориального поведения организмов при воздействии неблагоприятных для них термодинамических факторов среды является поведение пингвинов во время сильных морозов и снежных бурь. Пингвины спасаются тем, что образуют так называемые "черепахи", представляющие собой почти правильный круг из 200—300 птиц, плотно прижимающихся друг к другу и безостановочно вращающихся вокруг центра так, что с наветренной стороны оказываются то одни, то другие особи [6].

Необходимо отметить, что фактор плотности заселения территории оказывает значительное влияние на жизнедеятельность живых организмов. При этом действие этого фактора во многом обуславливается синхронностью заселения местообитания. Например, при одновременном внесении в резервуар с водой нескольких самцов колюшки можно достигнуть вдвое большей плотности популяции, чем при последовательном внесении [4].

Экологические последствия, вытекающие из рассмотрения различных моделей территориального поведения живых организмов, сводятся к тому, что такое поведение, во-первых, повышает успех размножения популяции и, во-вторых, стабилизирует ее численность. Стабилизирующее действие наиболее сильно выражено в тех случаях, когда существуют определенные минимально приемлемые размеры территории.

В одномерном случае (линейное местообитание) минимальное расстояние l между территориальными центрами определяется неравенством $l < 4r$, где r — радиус влияния особи, занимающей участок территории. При выполнении этого неравенства ни один новый пришелец не сможет занять для себя территорию (энергичное нападение соседей со всех сторон).

В двумерном случае (площадное местообитание) при полной синхронности заселения территории будет иметь форму шестиугольника (рис. 17) со стороной, равной $2r\sqrt{3}$. Равномерно распределенная популяция не допустит прибытия новых особей.

Реальные ситуации, соответствующие данным моделям, пожалуй, хорошо известны по крайней мере в качественном отношении каждому человеку в повседневной жизни. Достаточно хотя бы проанализировать территориальное поведение людей в транспорте, на пляжах морских побережий и др. Известно также различие в территориальном поведении людей, сменивших привычное местообитание, скажем, в степной зоне на местообитание в лесной зоне, или наоборот.

В аспекте архитектурной бионики фактор территориального поведения людей играет чрезвычайно большую роль, так как количественные и качественные закономерности этого фактора, раскрывающиеся в живой природе, могут быть использованы и в градостроительстве. Тем более, что территориальное поведение людей четко прослеживается в градостроительных системах, причем в историческом масштабе времени.

В этом отношении значительный интерес представляют исследования Г.В. Алферовой [7]. В этой работе отмечается, что русские города XVI—XVII вв. со свободной планировочной структурой строились с соблюдением определенной пропорциональной взаимосвязи размеров высотных зданий города — башен, колоколен, храмов, а также расстояний между постройками. Согласно градостроительным законодательствам Греции и Византии, унаследованным и Россией, эстетические принципы организации города ставились на первое место.

“Город должен быть также спланирован, чтобы каждый его дом не терял связи с природой. Экологические основы в эту и последующие эпохи были нерушимы. В городе должны быть храмы, памятники великим людям и богам. Из дворов и окон домов должен был открываться вид на природу . . . Для этого в городе должны были быть организованы “прозоры” . . . эти прозоры, т.е. пролеты между застройкой, должны были быть организованы не улиц и площадях городе. В эти пролеты между застройкой улиц и площадей пешеход должен был видеть живую природу, храмы, памятники и т.д. Для этого в городе должна была быть введена пропорциональная соразмерность во всех составляющих. Эта соразмерность достигалась введением в город модуля . . .” [7].

Таким модулем, согласно исследованиям, являются 12 стоп. Стопа как мера измерения расстояний — древнейшая единица; упоминание о ней можно найти в трудах Аль-Бируни (математик X—XI вв.): Ею измеря-

лась тень гномона (вертикально поставленного шеста). Длина гномона (шеста, высоты дома) разделялась на 7—6,5 частей и называлась стопой” [7].

В фундаментальном отношении 12-стопный модуль позволял сохранить не только эстетические принципы застройки городов, но и обеспечивал возможность проведения различных оборонных, противопожарных и других мероприятий.

Исторически обусловленное существование определенных ограничений в градостроительстве, стандартов, модулей в экологическом отношении представляет собой все то же территориальное поведение живых систем, реализующееся в архитектурных системах.

Тип размещения особей в пространстве имеет различные качественные оценки, такие, как “мозаичность, комплексность, парцеллярность, консортность . . .” [5]. Вместе с тем в биологии придается большое значение и объективной количественной оценке территориального размещения наблюдаемых объектов. В частности, в архитектурных исследованиях, особенно при анализе градостроительных ситуаций, целесообразно использовать формальный метод оценки типа территориального размещения. Этот метод основан на статистическом анализе варьирования плотности биологических объектов на учетных площадках; при этом численность объектов учитывается по плану участка на перекрывающихся площадках. Алгоритм метода строится на сканировании плотности размещения объектов, параметры которого задаются формулой

$$n = \left(\frac{A - a}{P_1} + 1 \right) \left(\frac{B - 1}{P_2} + 1 \right),$$

где n — число наблюдений плотности на учетных площадках; A — ширина пробной площади; B — ее длина; a — ширина учетной площадки; b — ее длина; P_1 — расстояние (шаг) между центрами смежных учетных площадок по ширине пробы; P_2 — шаг по длине пробы.

Тип размещения объектов при этом оценивается по характеру вероятностного распределения частот плотностей.

ГОРОД — ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

Современный город, и прежде всего город большой и промышленный, поставил ряд острых проблем перед градостроителями, архитекторами, конструкторами. К этим проблемам относятся очищение биосферы города, загрязненной отходами заводов и автотранспорта, рационализация транспортной системы и вообще системы связей (между жильем и предприятиями культурно-бытового обслуживания, между жилыми районами и местами приложения труда), создание необходимых условий для реконструкции городов, совершенствование эстетической среды и т.д. Все эти проблемы хорошо известны. От их решения во многом зависит быт, культура, производительность труда, здоровье людей.

Формирование социалистического образа жизни требует от архитекторов и градостроителей больших усилий по созданию полноценной архитектурной среды в городе.

Советские города, совершенствуясь, превращаются в высококультурные центры с жилыми районами, обеспеченными необходимым комфортом и учреждениями культурно-бытового обслуживания. Растут новые города с прогрессивной планировочной структурой нередко с интересной задуманной и осуществленной объемно-пространственной композицией, с законченным благоустройством. В сложившихся городах формируются новые районы, отвечающие гуманным принципам социалистического общежития.

В этом разделе мы не можем раскрыть все проблемы градостроительства и возможности бионики в ее градо-

строительном аспекте, укажем лишь на основные направления, где бионика могла бы быть применена и на те перспективы, которые она открывает.

Бионика — глубокое исследование законов развития живой природы — может оказать помощь в области решения общих вопросов, касающихся идей и принципов расселения, в поисках новой структуры городов, а также в поисках прогрессивных технических средств осуществления застройки городов-зданий, сооружений и т.д.

Вначале о расселении. Темпы роста городов (как по численности, так и территориально) во всем мире постоянно ускоряются. Это связано прежде всего с ростом промышленного производства. Естественный прирост населения, иммиграция сельского населения в города служат также сильными стимуляторами их роста. Но, что еще очень важно, — увеличение концентрации населения в крупных городах.

Развитие и рост промышленных городов (а сейчас почти все города становятся промышленными) означает одновременно и экспансию свободных земель: сельскохозяйственных угодий, плодородных целинных земель, лесов, лугов, рек, озер.

Такой рост городов грозит ухудшением жизненно необходимой для человека биосферы. Недаром сейчас медицина, градостроительная мысль ищут выхода из создавшегося положения и пытаются, используя все средства современной науки и техники, предотвратить возможные катастрофические изменения биологической среды.

В градостроительстве за это борются два противоположных направления. Первое — урбанизм — выступает против мелких поселений. Эта концепция проповедует идею сосредоточения людей земного шара в больших городах и резкое увеличение плотности населения на основе значительного повышения этажности зданий.

Второе — дезурбанизм, — наоборот, признает оптимальным развитие относительно небольших поселений полугородского, полусельского типов — так называемых “зеленых городов”. Желание дезурбанистов, таким образом, строить систему расселения не обосновательно, но ограничено в основном биологическими потребностями человека. Действительно, по основным биологическим показателям (здоровья, рождаемости, смертности) город по сравнению с селом находится в худшем положении. Например, показатели состояния здоровья горожан в 1,5 раза хуже показателей здоровья сельчан; смертность в городах в 1,5 раза выше смертности на селе.

Предполагается, что крупные города благодаря своей редкой расстановке, а мелкие поселения — небольшим размерам и отсутствию сложного промышленного и транспортного хозяйства не будут разрушать окружающую их живую природу.

Надо заранее сказать, что дезурбанизация в современных условиях совершенно нереальна, о чем говорят имеющиеся тенденции. В Советском Союзе, например, в 34 городах с населением более 500 тыс. чел. проживает 27% населения страны, те же 27% составляют жители 4500 мелких городов с населением до 20 тыс. человек. Население крупных городов постоянно увеличивается.

Первое направление — урбанизация — более жизненно, однако тоже представляет собой крайность. Оно скорее отвечает потребности высокоразвитых стран с малыми территориями и большой плотностью населения (Япония, Бельгия, Голландия и др.). Сама тенденция социалистического расселения — сочетание развития крупных городов со средними и мелкими поселениями при равномерном заполнении географических зон — противоречит этому. Она более соответствует разнообразию человеческих потребностей условий.

В живой природе принцип развития также характеризуется разнообразием форм и их сочетаний. Иначе говоря, и живая природа, и расселение представляют собой сложные системы, состоящие из различных по существу и по форме функциональных элементов. Урбанисты же и дезурбанисты упрощают проблему, предлагая относительно простые сочетания из одинаковых элементов: крупных или мелких городов.

Несмотря на использование научных методов в регуляции расселения и градостроительства, мы еще недостаточно овладели этими методами. Изучение законов и принципов построения сложных систем живой природы с учетом, конечно, общественной специфики градостроительства и расселения во многом поможет правильно подойти к решению этих проблем.

В этом случае могут быть использованы:

а) принципы структурного построения и способы функционирования подсистем (элементы систем) и самих систем. Например, структура взаимного расположения элементов на плоскости и в пространстве, долгосрочность действия систем, циклы обновления и т.д.;

б) методы воздействий, получаемых подсистемами и системами извне, и сообщения их вовне (в природе, например, связь популяций, в расселении — производственные связи и т.д.);

в) структурные и функциональные принципы связи (не только коммуникационной, но и посредством промежуточных градостроительных элементов);

г) методы информации — накопление и передача сведений о системах, выраженных структурно и функционально (искание способов и методов отбора и сохранение оптимальных качеств систем как основы их постоянного совершенствования).

Земные и космические факторы — солнце, тепло, состояние атмосферы, рельеф, растительный покров, вода и все то живое, что населяет землю, — находятся в исключительно тесном взаимодействии. Стоит одному из этих факторов измениться, как последует ряд изменений как функционального, так и структурного характера во всех элементах природной системы. Здесь проявляются основные принципы действия систем — единство целого и частного, корреляция частей, подчинение второстепенного главному, саморегуляция системы на основе накопления и переработки информации и др.

Основным признаком структурного построения живой природы является сочетание концентраций и разрядок при постепенности перехода одного элемента в другой, одной среды в другую. Не говоря уже о структуре атомов, молекул, клеток, все природное пространство подчиняется этому принципу: лесной покров сменяется лугами, полями, озерами, густые леса чередуются с лесостепью, лесостепь сменяется пустынями и т.д.

По-видимому, если следовать в определенных аспектах естественным законам организации природного пространства, то заселение поверхности земли (расселение) должно представлять собой сочетание концентраций и разрядок. Градостроительно и архитектурно это могло бы выглядеть так: многоэтажные индустриальные города (концентрации) и небольшие — зеленые городки — села, окруженные полями, лугами, лесами (разрядки), а между ними — промежуточные звенья в производственном и культурном отношении — средние города.

Активность взаимодействия элементов системы, их всестороннее насыщение информацией здесь во многом зависит от меры концентрации заполнения этими элементами пространства и от активности структурных и функциональных связей. Например, сдерживание развития крупных городов наряду с ростом средних.

Биосфера должна слиться с экосферой городов. Но

для этого недостаточно решить лишь принципиальную схему расселения. Необходимо также, чтобы и города отвечали определенным принципам застройки.

В живой природе трудно увидеть организм правильной прямоугольной или кубической формы. Природа подчиняется принципу взаимопроникновения. Взаимосвязь осуществляется как в материале образованием структур — промежуточных слоев и тканей, так и в пространстве — изогнутостью, расщеплением, дифференциацией формы. Так, кровеносная и нервная система животных, корни и ветви деревьев, постепенно разветвляясь (дифференцируясь), осуществляют связь с окружающей их средой.

Формы планов городов в их историческом развитии постепенно приближаются к сложному изощренному построению живых организмов. Города средневековья обнесены, как правило, строго геометрически распланированными оборонительными стенами — принцип, нашедший свое яркое выражение в проектах "идеальных городов" Ренессанса (город "Сфорцинда Филарета", XV в.) и в проектах городов социалистов-утопистов XIX в. Но, освобождаясь от каменных стен или выходя за их пределы, замкнутая структура городов превращается в "открытую", приспосабливается к природе, рельефу, водным и сухопутным путям сообщения, социально-экономическим связям и отношениям, развитию техники и промышленного производства. Город становится, подобно паутине, нервной и кровеносной системе, сложным и дифференцированным по планировочной структуре. Так же, как в живом организме, в городе возникает специализация его отдельных частей — функциональных элементов. Выделяются жилые и промышленные районы, пространства для отдыха и общественных мероприятий, транспортные зоны.

Такое "свободное" построение плана позволяет городу лучше приспосабливаться к потребностям жизни, избирательно подходить к застройке местности, войти в живую природу по земле, не представляющей большой агрономической и биологической ценности (каменистые, неплодородные почвы и т.д.), а природе своими плодородными массивами войти в город. Принцип "свободной" планировки известен и рассматривался архитектурно-градостроительной наукой. Однако нужно искать его формы, отвечающие условиям застройки городов. И здесь, несомненно, большую помощь окажет исследование закономерностей образования живых форм и природного пространства.

Форма развития городов — важный момент в их существовании; многие города растут и развиваются очень быстрыми темпами, поэтому для планомерного их развития необходимо уже в проекте нового города или реконструкции старого (генпланах городов) заложить идею формы этого развития. В семени растения, например, заложен алгоритм его роста. Этот алгоритм предполагает наиболее рациональное взаимодействие живого организма со средой, проявляющееся в его массах, структуре, геометрии формы, в способах наращивания. Так, в природе наблюдается спиральная форма развития (раковины, стебли, листорасположение на стеблях и т.д.), звездчатая — от центра по лучам к периферии (морские звезды, редиоларии, лепестки цветов и др.), орнаментальная — равномерное заполнение поверхности однотипными элементами (например, клетками); линейное повторение однотипных элементов (стебли, листья растений и т.д.) и др. Существуют и их сочетания.

В соответствии со специализацией города, темпами его развития, условиями местности, климатическими факторами и т.п. могут быть избраны различные алгоритмы и формы роста городов. Теодор Фритч (Англия) в 1896 г. проектирует город, развивающийся по спирали, Эрих Гleden (Чехословакия) в 1923 г. —

город, состоящий из плотно прижатых одна к другой "клеток" (орнаментальный тип планировки). Наша столица Москва исторически развивалась от центра — Кремля по идущим к нему дорогам — Тверской, Калужской, Рязанской, Серпуховской, Можайской и т.д., по радиально-кольцевой системе. При составлении генплана Москвы в 1924 г. архит. С. Шестаков, например, взял за основу исторический принцип развития Москвы.

Бригада ОСА под руководством И. Леонидова представила в 1930 г. проект Магнитогорска, построенного линейно из сомкнутых "клеток" — кварталов. В.А. Шквариков со своим коллективом запроектировал в 1962 г. генплан Целинограда по системе, сочетающей в себе параллельные и глубокие поперечные связи жилых кварталов с промышленными районами.

Решая проблему объемного построения города, градостроители могут также присмотреться к природе, к ее "комплексности", вскрыть и здесь закономерности, которые помогли бы обрести большую уверенность в правильности выбираемых градостроительных принципов.

Сейчас градостроители, особенно футурологи (теоретики архитектуры и городов будущего), делают основную ставку на города, размещенные лишь в одном грандиозном здании, вмещающем сотни тысяч и даже миллионы людей, а также все элементы города — жилье, культурно-бытовое обслуживание, производство и т.д. Думается, что сильный акцент на такие высотные здания противостоит природе. Опять-таки, как и в случае с расселением, такой подход может оптимально решить лишь одну какую-либо сторону проблемы, а не комплекс проблем в их системной связи.

Природа "решает" этот вопрос комплексно. Леса, например, растут как бы ярусами — деревья, кустарники, лесные травы. Биолог Б.В. Игнатьев пишет: "Благодаря ярусам на одном и том же пространстве земли может произрастать гораздо большее количество растений, чем могло бы быть при отсутствии этого свойства. Ярусность возможна потому, что существуют растения, которые отличаются различными требованиями к внешним условиям и обладают различными внешним видом и размерами" [9].

Построение городов ярусами открывает возможность каждому элементу города найти оптимальное место и с точки зрения удобства жизни, и его эксплуатации, и создания приятного микроклимата (например, обеспечения солнечным освещением), и т.д. Именно такую градостроительную структуру, в которой воплощены основные принципы построения природного пространства, запроектировал и архит. Ян Любич Нич. В этом комплексе жилые квартиры, например, расположены так, что каждая открыта на солнце и имеет выход на расположенную перед ней зеленую террасу с небольшим водоемом. Это — не роскошь. Когда-то в городах выглядало совершенно естественно наличие при домиках садов или палисадинок. Однако в современных городах индивидуальные дома с садами невыгодны — они заняли бы слишком большие площади. Если же их поднять над землей, да поставить еще на столбы, то они не только не будут занимать лишнюю землю, но образуя дополнительные ярусы, освободят ее и удвоят.

В живой природе дом на столбах — это крона на стволе дерева, цветок или початок кукурузы, закрепленные на стебле, и т.д. Ведь в живом мире растений также существует земельный "голод", и они вынуждены развивать свои кроны, листья, цветы, почки где-то над землей в околземном пространстве.

Следуя естественным законам, многие архитекторы сейчас ставят дома на столбы, а квартиры на них располагаются так, что каждая представляет собой самостоятельную единицу, пространственно изолированную от другой. Таким образом, в новой архитектуре осу-

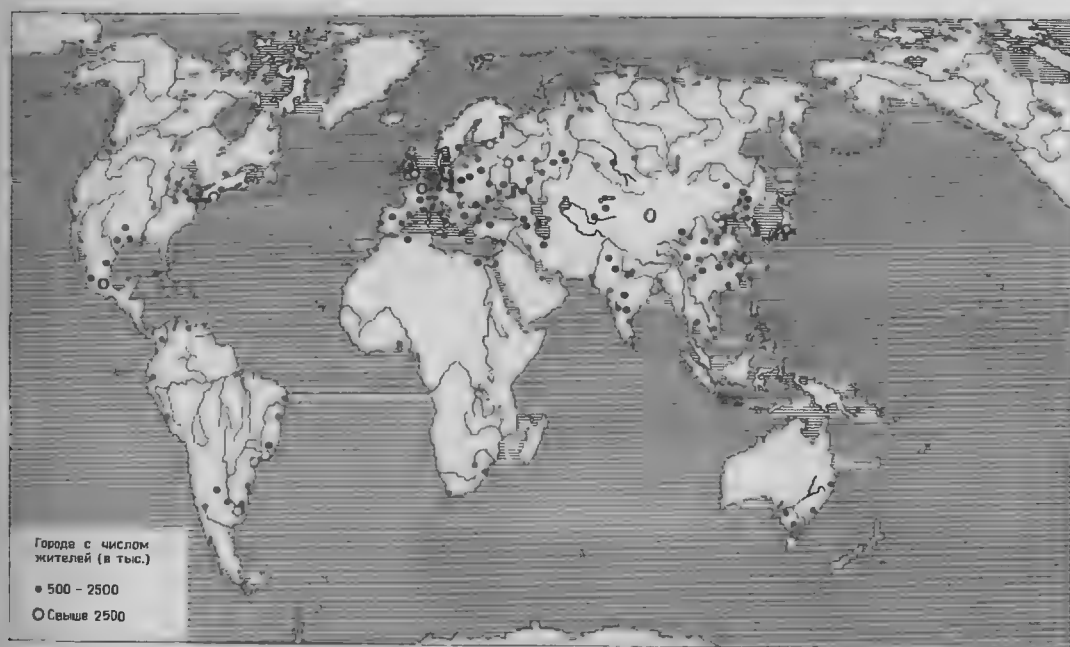


Рис. 18. Рост числа больших городов мира и их территориальное размещение
1 - 1920 г.; 2 - 1960 г.

ществуется стремление соединить на основе технических достижений традиционный принцип индивидуального дома с коммунальным, удовлетворяя при этом всем требованиям строжайшей экономии земли, материала, времени и т.д.

Чтобы облегчить реконструкцию городов и замену его устаревших (в первую очередь морально) элементов, наши современники — архитекторы и градостроители — придумали оригинальную систему, по своей организации напоминающую природную. Так, в системе живой природы и, в частности, в растительном мире мы наблюдаем сочетание более или менее постоянных, продолжительное время не изменяющихся элементов и частей систем, периодически появляющихся и исчезающих. Остов дерева — ствол, ветви — остается, а

листья в большинстве случаев регулярно опадают и вырастают.

Для облегчения реконструкции городов, чтобы не разрушать целиком здания, предлагается разделить его техническую подсистему на два вида: стационарную — опорные несущие конструкции и несомые "клетки" города — жилые ячейки, общественные и производственные элементы. Эти ячейки как бы "подвешиваются" к стационарным столбам, решеткам и т.д., оборудованными лифтами и лестничными клетками, а когда нужно, снимаются кранами или вертолетами, заменяются. Проекты такого "динамического" города у нас, например, разрабатывались д-ром archit. А.В. Иконниковым и archit. К.П. Пчельниковым.

Современный город — это город, превращающийся из "механизма" в "организм", город, в котором все элементы начинают тесно взаимодействовать между собой. Ему должны быть присущи системность, динамичность, "саморегуляция" на основе накапливаемой информации, постоянное совершенствование без катаклизмов, органическая связь с природой. Город должен выступать не разрушителем природы, а в качестве входящего в нее естественного звена, подчиняющегося в своем развитии и законам природы.

ПРИРОДА КОЧЕВОЙ (МОБИЛЬНОЙ) АРХИТЕКТУРЫ

Тысячелетия отделяют нас от первых примитивных человеческих жилищ, которые в те далекие времена строились из подручных материалов с учетом особенностей климата, ландшафта.

Характер природного строительного материала в решающей степени влиял и на выбор конструкций. В районах, богатых лесом, возник бревенчатый сруб, там, где подручным материалом служил кемень, появился прообраз стоечно-балочной конструкции, а в местностях, богатых глинами, мы находим сводчатые перакрития, опирающиеся на массивные сырцовые стены.

Человек нашел способ устраивать себе жилище в степи, пустыне, тундра, хотя здесь не было строительного материала в его привычном виде и для постройки служили кости, шкура и шерсть животных (рис. 19—28, 30).

Образ жизни человека — оседлый или кочевой — складывался под влиянием условий ландшафта и климата. В этом отношении евразийский континент имеет важную особенность — разко очерченную зональность территорий, что позволяет проследить связи способа производства с климатом, флорой и фауной.

Резнообразии ландшафта Средней Азии продиктовало ее обитателям и различные формы приспособления к нему. Каждый народ имел свои традиции и свои привычные ему типы жилищ, но все они перестраивались применительно к природе степи, диктовавшей способы ведения хозяйства, а тем самым и бытовой уклад. Какую же форму жилища продиктовали ландшафты внутренней Азии и какая существовала взаимосвязь архитектуры с природой?

Наличие в Средней и Центральной Азии обширных степных пространств, пологих горных склонов, покрытых травостоем, давало возможность прокормить миллионы домашних животных в течение круглого года. Из шерсти овец кочевник валяет войлок, чтобы потом превратить его в теплые легкие стены юрты. Все, что находится внутри и снаружи юрты, сделано из продуктов животноводства. Перед нами не подобие жилища, а образец конкретного его архитектурного типа — кочевого, переносного, строго подчиненного особенностям быта и хозяйства. Он полностью отвечает требованиям природно-климатической среды, специфике местных строительных материалов.

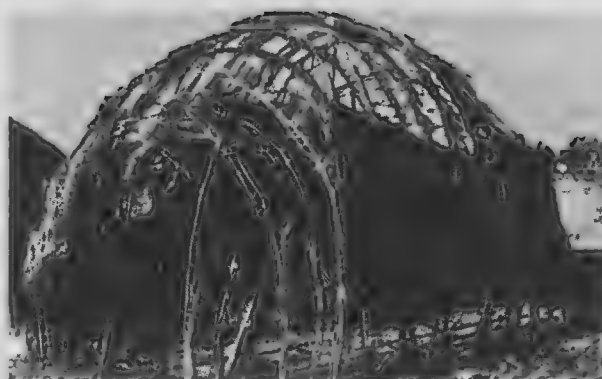
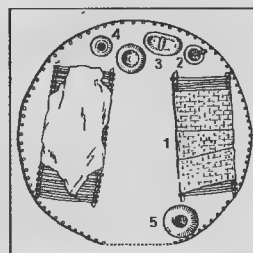


Рис. 19. Переносное жилище из местных строительных материалов кочевников Сомели (Африка). Общий конструктивный вид жилища и его план



1 — кровати; 2 — ступа для терки зерна; 3, 4, 5 — домашняя посуда для приготовления и хранения пищи и воды

Рис. 20. Перекочевка. Транспортировка сборного жилища у кочевников Африки



Многовековая эволюция кочевой юрты выработала ее четкие формы, правила сборки и разборки, пропорции и способы украшения и мебелировки. Размеры юрты соответствуют масштабу человека, внутренняя планировка учитывает интересы и вкусы ее обитателей, обеспечивает хозяйственно-бытовую деятельность. Эта легкая сборно-разборная постройка приспособлена к транспортировке на вьючных животных (рис. 29, 31).

Общий вес юрты с мебелировкой 300—400 кг — грузоподъемность одного верблюда. Диаметр обычной жилой

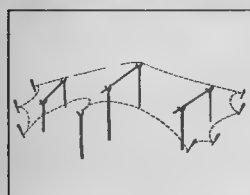
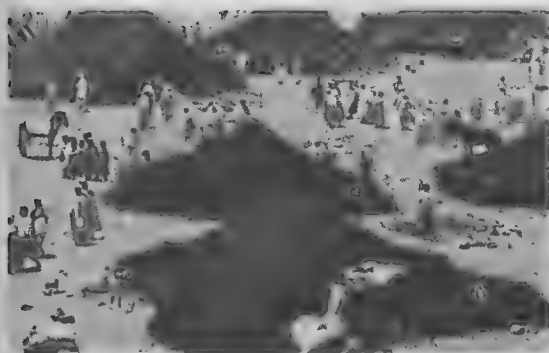


Рис. 21. Конструкция и общий вид стана из сборных "черных" палаток кочевников Сахары

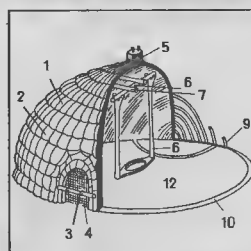


Рис. 24. Кочевое жилище скотоводов племени Зулу (Южно-Африканская Республика). Общий вид поселка зулусов. Жилище (в разрезе). Цифрами обозначены конструктивные элементы



Рис. 23. Сборная палатка кочевников Северной Африки. Общий вид и транспортировка жилища



Рис. 22. Кочевая палатка кочевников Туниса (вверху). Навес и подсобное сооружение из подручного строительного материала кочевников Ливии (внизу)

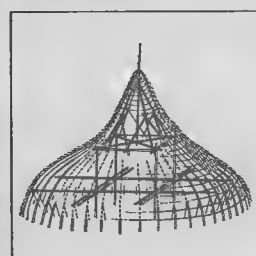
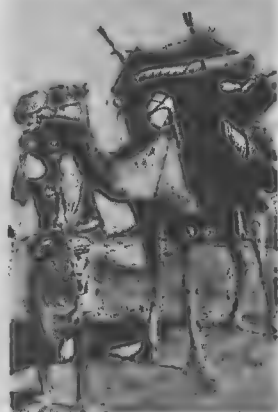


Рис. 25. Жилище из местных строительных материалов жителей Латинской Америки. Конструктивная схема жилища жителей Венесуэлы. Общий вид жилища жителей Колумбии

юрты — 4,5–8 м, высота ее в центре 3,5–5 м. Время, за которое она собирается или разбирается, — в пределах 1 часа. Конструкция юрты состоит из 9 основных частей. Остов стен составляется из связанных между собой складных деревянных решеток, которые определяют размеры и вместимость жилища.

Каждая решетка, входящая в общую стенку, состоит из плоских реек, наложенных одна на другую крестом и скрепленных сыромятными ремнями. Благодаря тому, что эти рейки сжимаются или растягиваются гармошкой, можно уменьшать или увеличивать юрту до необходимой высоты или складывать ее во время перекочевки.

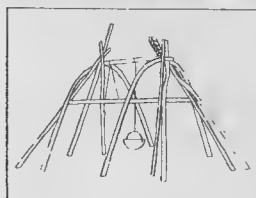
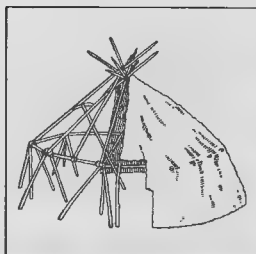
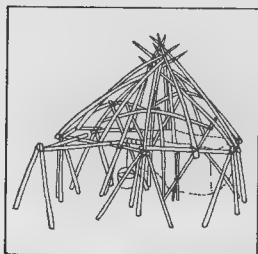


Рис. 26. Конструктивная схема переносного жилища оленеводов Камчатки и Сибири
а — конструкция корякского чума; б — схема чума чукчей

Рис. 27. Жилища оленеводов Скандинавии. Конструктивная схема. Общий вид жилища

Остов крыши, образующий свод, состоит из выстроганных жердей, которые втыкаются наверху в специальный круг — тооно, а в нижней части опираются на решетку стен. Снаружи юрта вся окутывается войлоком, выкроенным по ее форме.

Дверь юрты всегда обращена на юг или юго-восток. Благодаря этому дом кочевника в степи изолирован от холодных северных ветров и снежных заносов зимой и открыт живительным солнечным лучам весной и летом.

Являясь искусственно организованным пространством, кочевая юрта одновременно как бы остается органичной частью природы, вобрав в себя наиболее полезные и благоприятные ее принципы.

В архитектуре азиатских регионов используются принципы регуляции микроклимата, заимствованные из окружающей живой природы.

Сопоставляя принципы формирования архитектуры с растительным миром в данном относительно благоприятном природно-климатическом регионе Азии, можно отметить общие закономерности.

Интенсивная солнечная радиация, действие больших ветровых нагрузок и резких температурных перепадов сказались на особенностях формирования растительного и животного миров. Как известно, солнечный свет задерживает рост растения в длину, но укрепляет ткани, делает толще стенки клеток, тепло ускоряет рост клеток, воздействие ветра способствует развитию упругости тканей, отсутствие влаги в пустыне огрубляет их и т.д. Растительные и живые формы здесь совершенствовались своими средствами, приспособляясь к разному изменению среды в течение суток и в течение года.

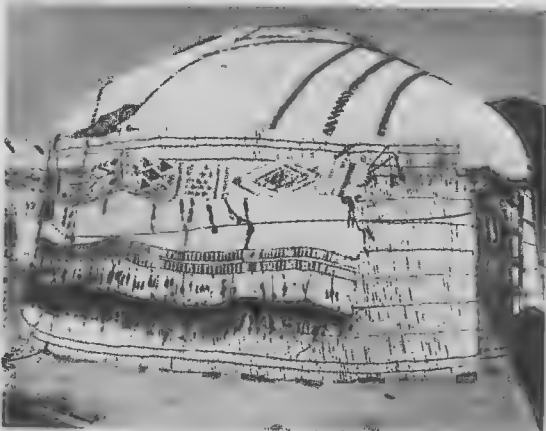
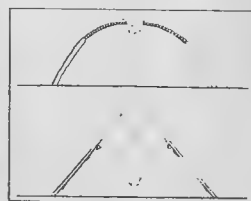
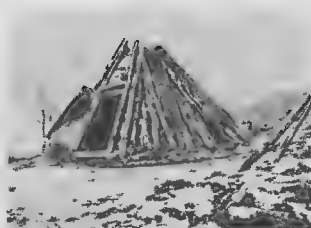


Рис. 28. Жилище оленеводов-лоперей Скандинавии
а — общий вид; б — конструктивный разрез; в — группа жилищ

Рис. 29. Сборно-разборная юрта из войлока и тростника кочевых туркмен Северного Афганистана

Многие средства приспособления к данной среде природного мира использованы в кочевом жилище — войлочной юрте — обитателей этого региона. Благодаря оригинальной сборно-разборной конструкции и аэродинамичным компактным формам юрты, применению в качестве строительного материала шерсти, обладающей хорошими теплофизическими качествами, в комплексе, являющихся эффективным механизмом регуляции, внутри кибитки поддерживается оптимальный микроклимат в любое время года.

Подобно тому, как растительный мир степей и пустынь способен динамически реагировать на колебания температурного режима воздуха, принципы конструкции юрты отвечают динамике условий существования. Это механически опускающиеся и поднимающиеся вслед за изменением температуры воздуха войлочные кошмы стен, терморегулирование внутреннего пространства посредством поворачивающегося и убирающегося в зависимости от солнцестояния покрытия верхнего отверстия юрты. В связи с этим функциональная площадь внутри юрты делится на 12 частей, соответствующую

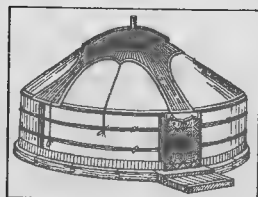
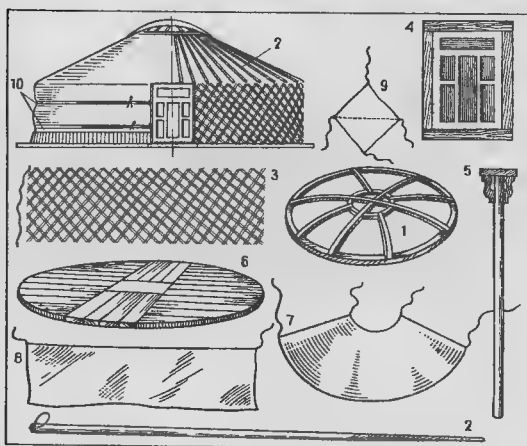


Рис. 30. Поселок жителей Севера из льда — иглу

Рис. 31. Монгольская кочевая юрта и составные ее части

1 — верхнее конструктивное кольцо-дымник; 2 — жерди, поддерживающие свод; 3 — решетчатая стенка из реек; 4 — естественная дверь; 5 — центральный столб, поддерживающий дымник; 6 — деревянный пол; 7 — войлочный покров купола юрты; 8 — войлочный покров стен; 9 — войлочное покрывало, закрывающее дымник

ших 12-месячному циклу календарного летоисчисления (рис. 31).

Юрта всегда становится на открытом солнцу пространстве. Планировка и внешний вид юрты являют собой соответственно горизонтальную и вертикальную модаль вселенной. Яркий орнамент на куполе юрты в плане представляет четкий крест, концы которого строго направлены по странам света, а один конец орнаментированного креста акцентирует вход в юрту.

Центральное верхнее дымовое отверстие юрты определяет также, вертикальное направление и позволяет кочевнику ночью наблюдать за движением звезд через неподвижную верхнюю раму дымника. Эта идея горизонтального и вертикального организующего центра вселенной, практическую модель которой представляет кочевая юрта, ложится в основу как отдельных сооружений, так и градостроительных комплексов.

Отсчет времени суток, месяца, года у кочевников велся обычно по солнцу, по углу падения солнечного

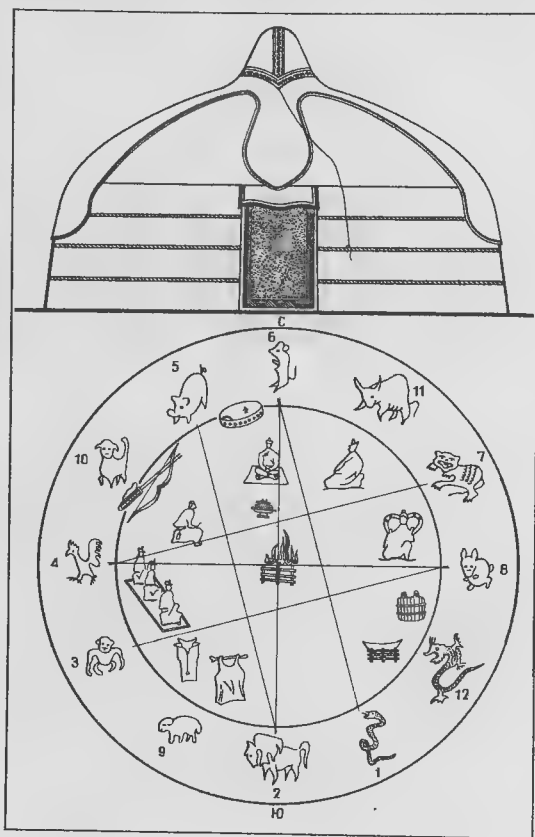


Рис. 32. Юрта, ее планировка и расстановка вещей в соответствии с 12-месячным центральноазиатским календарем

луча через верхнее отверстие юрты — дымник. По мере того, как луч солнца скользил по окружности дымника, затем по кончикам жердей (а их бывает в пределах 60), поддерживающих свод юрты, далее по поверхности полукруга войлочного ковра, по определенным частям мебели, кочевник определял точное время и строил распорядок рабочего дня. Поэтому пропорция дымника, число жердей, высота решетчатых стен и всей юрты, а также традиционная ориентация входных проемов были подчинены ритму движения солнца. Даже покраска конструкций юрты, ее система орнамента имели свою закономерность, учитывающую указанные функции (рис. 32).

Кочевники при возведении юрты использовали принцип построения живых конструкций из унифицированных элементов. Практическая необходимость и художественная целесообразность заставили подчинить все размеры юрты единому модулю и унифицировать все детали.

Сборно-разборное войлочное жилище — юрта — господствовало на всем обширном пространстве степей Средней и Центральной Азии, занимаемом кочевыми тюркскими и монгольскими народами. Причем в зависимости от географических условий — степной или лесостепной зоны — жилище имело сферическую или коническую форму крыш (рис. 33).

Универсальность юрты как классического, выработанного на протяжении тысячелетий кочевого типа жилища, послужила основой для создания оригинальной кочевой архитектуры (рис. 34). В степи существовали сборно-разборные юрты различных назначений и вместимости — от огромных кочевых храмов до юрт-дворцов. В зависимости от функционального назначения изменялись внешний вид и габариты юрты. Так, если обыкновенная жилая юрта кочевника, состоявшая из 3–4 составных решеток-стен, была вместимостью 8–10 человек, то большие сборно-разборные юрты-дворцы предводителей уже состояли из 10–25 решеток-стен и вмещали 50–100 человек; большая переносная юрта последнего хана Монголии вмещала 500 человек.

Если сборно-разборная войлочная юрта — постоянный тип жилища кочевников, используемый круглый год, то для периодического пребывания в кратковременных походах, для сбора людей применялись матерчатые палатки — временное кочевое жилище.

Периодичность использования кочевниками палаток отразилась и на их функциональной стороне. Подобно юрте они были сборно-разборными и красочно украшались внутри и снаружи, но уже не имели относительно сложных войлочных стенок и крыш, деревянных решетчатых каркасов.

Разновидности палаток степей Азии породили один из типов сооружений кочевой мобильной архитектуры, часто огромной вместимости, которые и сегодня поражают нас своей продуманностью и красотой.

Особенности ведения хозяйства и природные условия повлияли на планировку поселений и на систему расселения кочевых народов. У кочевников степи с древнейших времен определилась родовая система поселения, которая была продиктована природными условиями выпаса скота. Размеры поселения зависели от природно-климатических условий — чем они благоприятнее, тем больше поселение.

До XII в. у многих кочевников Центральной Азии существовал кураный способ кочевания (слово "курень" произошло от "хуре" — круг, кольцо). Курень представлял собой комплекс из юрт, расставленных по кругу. Внешне — это комплекс из нескольких тысяч сборно-разборных сооружений с четкой функционально организованной планировочной структурой. В середине размещалась юрта предводителя. Построение можно, видимо, связывать с культом солнца, древнейшим символом которого был круг с точкой в центре. По этой же схеме планировали и внутреннее помещение юрт — очаг всегда в центре юрты. Со временем кочевание куренями прекратилось, однако основной принцип куреня — расположение построек по кругу — не исчез. Природно-климатические условия и система государственной организации кочевых образований выработала на территории Центральной Азии два вида ставок: кочевые временные ставки, возникавшие во время завоевательных походов или во время летних перекочевков, и стационарные ставки, служившие столицами и монастырями, крепостями, торговыми поселениями, образовавшимися в результате сосредоточения работорговцев, торговцев, пленников, семей воинов. Этим объясняется тот факт, что у кочевых монгольских народов в XIII в. наряду со стационарными городами, застроенными капитальными каменными, кирпичными и деревянными зданиями жилого, общественного и производственного назначения (например, Каракорум), существовали кочевые города, состоящие из переносных сборно-разборных сооружений (например, Золотая Орда).

Сооружения кочевой архитектуры перемещаются в пространстве, полностью сохраняя свою определенную планировочную структуру и облик на каждом новом месте.

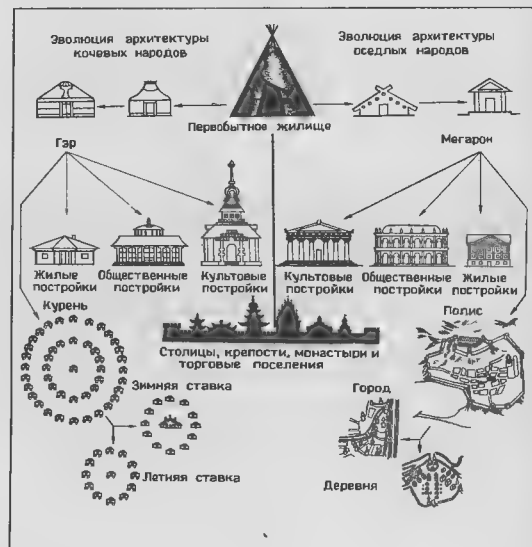
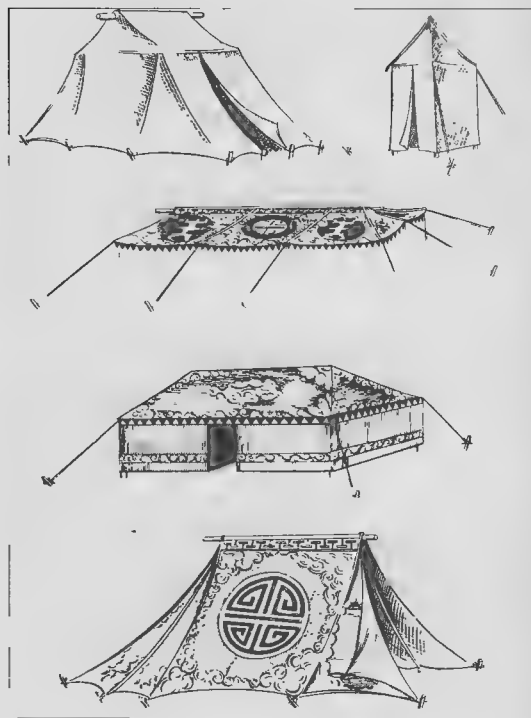


Рис. 33. Сборно-разборные монгольские палатки

Рис. 34. Схема развития архитектуры кочевых и оседлых народов

Кочевые города — уникальное явление во всемирной истории архитектуры. Приемы планировки населенных пунктов кочевников Азии также во многом соответствуют бионическим принципам, т.е. законам пространственной взаимосвязи в живой природе, ее отдельных элементов, заполнения пространства по вертикали и горизонтали, сочетания форм разного разме-

Мотив	Рисунок	Орнамент
Растительный		
Геометрический		
Зооморфный		
Символический		
Пейзажный		

Рис. 35. Природа и особенности формирования орнамента у кочевников

ра, ритма и т.д. Например, кочевые монгольские станы располагались по кругу — прием, наиболее рациональный и удобный по отношению к природным условиям степи. Каждое сооружение устанавливалось с учетом рельефа, направления господствующих ветров и инсоляции, освещения, влажности и других естественных факторов, образуя, как в природе, единый организм. Недаром размах и сложность строительства кочевых и стационарных городов в Монгольской империи XIII в. вызвали необходимость учреждения должности главного зодчего, который имел специальные знания и был наделен особыми полномочиями.

Кочевая и стационарная архитектура, рожденная в недрах природно-климатических условий степей Центральной и Средней Азии, была бы невыразительна и неполноценна, если ее рассматривать в отрыве от смежных искусств, где связь с природой нашла философско-символическое осмысление.

Декоративно-прикладное искусство кочевников наиболее органичное и полное выражение нашло в народном зодчестве, особенно в украшении жилища. В декоративно-прикладном творчестве кочевников акцент делается на орнаменте — наиболее сложившейся и яркой форме проявления художественного вкуса народов, рожденного конкретным природным окружением (рис. 35).

У кочевых скотоводческих народов Центральной Азии в декоративно-прикладном искусстве ведущее место занимают художественные изделия из животного сырья — шерсти, шкур, кожи, кости и т.д. У земледельческих оседлых народов преобладала выделка

изделий из растительного сырья, поэтому изобразительное искусство здесь нашло наиболее яркое выражение в развитии растительного орнамента.

Развитие орнаментальных мотивов в декоративно-прикладном искусстве шло поначалу относительно одинаково у всех кочевых народов. Об этом говорят графические изображения фантастических существ, стилизованных фигур, символических знаков, сохранившихся со времен поклонения силам природы — солнцу, воде, грому, молнии и т.д.

Однако с развитием общества каждый из кочевых народов, имеющих одинаковый хозяйственный уклад жизни, но свои конкретные природно-климатические условия, этнический состав, местные строительные материалы и, самое главное, исторически сложившийся психический склад и традиции, идет самобытным путем.

Зооморфный и растительный орнаменты, так же как и геометрический, имевшие широкое распространение в прикладном искусстве монгольских и тюркских народов, применялись и в архитектуре.

Кочевая юрта, дворец или храм поражали обилием орнаментальной росписи интерьера, причем с определенной закономерностью расположения орнамента, строгим соблюдением тектоники и цветовых сочетаний.

Одна из специфических особенностей орнамента кочевых монгольских и тюркских народов — цвет. Он вызывает символическую и философскую ассоциацию у кочевника, который хорошо знает роль цвета. Поэтому характерной особенностью орнамента, применяемого в монгольской архитектуре, является чистота, яркость и богатый спектр тонов, от самых светлых через нейтральные до самых темных. Благодаря такому сочетанию тонов, постепенному переходу от светлого к более темному рисунку орнамента производил впечатление объемного.

В настоящее время в мире интерес, проявляемый к вопросам мобильности, трансформации архитектурного пространства, дизайна, все время возрастает. Проблема освоения творческого наследия прошлого является все более важным условием создания мобильной архитектуры.

ПРИНЦИПЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ — “БИОТЕКТОН”

Развитие градостроительства свидетельствует о росте объемов возведения высотных зданий и сооружений в общей тенденции повышения этажности зданий современных городов. Эта тенденция требует поиска новых принципов формообразования высотных зданий башенного типа (вертикальных структур), создания прогрессивных конструкций и эффективных строительных материалов, отвечающих организации экологически здоровой и эстетически полноценной среды существования человека, а также требованиям рационального использования технических средств и экономии застраиваемых городских территорий.

Рассмотрение формирования городов — идеального города Витрувия и Филорета, “города-солнца” Компанеллы и “города без стен” Леду, фаланстера Фурие и метрополии Кабе, “города-сада” Говарда и города будущего Сант’Элиа, “тотального города” Бернара, а также создания домов-комплексов Г. Градова, домов-башен И. Гунста, К. Пчельникова, А. Иконникова, группы НЭР, динамических образований В. Локтева, взвешенной архитектуры Г. Борисовского и многих других — позволяет проследить тенденции вертикального пространственного градостроительства.

Теоретические концепции проблем “вертикального развития”, в частности расчеты Вальтера Гропиуса и “принципы современного градостроительства” Ле

Корбюзье, проектные разработки братьев Весниных, А. Кринского, И. Леонидова, Г. Крутикова, Н. Ладовского, Э. Лисицкого, Л. Мис ван дер Роэ, Э. Сааринена, Б. Гольдберга, Ф. Кана явились основополагающим этапом пространственного градостроительства, т.е. развития городов не только вширь, но и по вертикали.

В области архитектурного прогнозирования футурологические поиски Ф. Отто, Квормби, Фридмана и других направлены на разработку такой структурной организации искусственной среды, которая обеспечивала бы пространственную гибкость и функциональный динамизм конструктивных систем. В основе таких разработок лежит стремление преодолеть те высотные ограничения и те недостатки, которые заключает в себе жесткая система (рис. 36). Например, самые высокие в мире здания 110-этажные Уорлд Трейд Сентер в Нью-Йорке и Сирс Тауэр в Чикаго, построенные на основе жестких конструктивных систем, имеют значительные размеры в плане и сравнительно низкий коэффициент стройности¹ (рис. 37), что приводит к нерациональному использованию городских площадей. С увеличением коэффициента стройности возникают колебания зданий со значительными амплитудами, к гашению которых жесткая система приспособлена не лучшим образом. Возрастает также значение нагрузки для сверхвысоких сооружений, находящихся под постоянным воздействием ветра и в условиях сейсмике.

В плане бионических исследований нами выдвигается и научно обосновывается гипотеза более рационального развития высотных и сверхвысотных пространственных структур с использованием заимствованных из природы упругогибких вертикально развивающихся конструктивных форм, обладающих надежностью и способностью оптимально преодолевать динамические нагрузки.

Анализ эволюции конструктивных систем позволил проследить эволюцию применяемых в практике строительства конструктивных систем в направлении использования тех же принципов конструирования, на которых построены вертикальные сооружения живой природы, и попытаться на основе принципа структурно-функционального соответствия свести воедино логику развития архитектурно-бионических аспектов формообразования и конструктивно-технических, которые, как известно, не всегда совпадают.

Развиваемая в архитектурной бионике идея "гибкости" в полной мере согласуется с общими законами строительной механики и подтверждается работами советских ученых (К.С. Завриев — методы расчета упругопластических деформаций; Г.С. Писаренко — методы определения характеристик демпфирования и колебаний упругих систем; Я.М. Айзенберг — сооружения с выключающимися связями; С.В. Поляков, П.Ф. Дроздов — расчет зданий с податливым основанием и др.), а также имеющимся опытом использования гибких систем в проектировании и строительстве высотных зданий за рубежом (так, американскими инженерами М. Финтелем и Ф. Каном предложена конструкция здания с нижним гибким этажом, французскими инженерами получен патент на гибкую конструкцию высотного здания, японскими архитекторами создана гибкая конструкция небоскреба, третьего по высоте здания, построенного в Японии, немецким архитектором Ф. Отто создана гибкая модель колесколы и др.).

При прогнозировании новых приемов создания упругогибких систем высотных сооружений большой интерес могут представить принципы и законы фор-

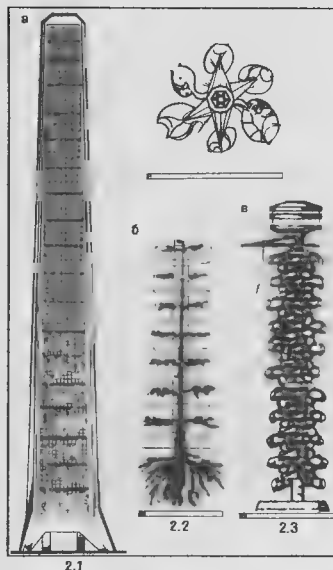


Рис. 36. Гибкие конструктивные системы в строительстве высотных зданий башенного типа
а — проект "дома-города" высотой 3200 м. Инж. Фришман; б — "дом-дерево". Архит. Ф.Л. Райт; в — "дом-зерно на початке". Общий вид и план. Архит. А. Квормби

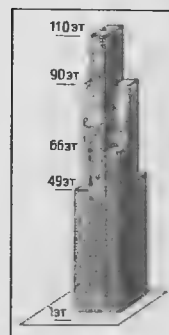


Рис. 37. Административное здание Сирс Тауэр в Чикаго (осуществлено в натуре), высота 436 м

мирования вертикально стоящих стеблей растений, коэффициент стройности которых характеризует эффективность конструктивной формы по отношению к ветровым нагрузкам. Стебель ржи, например, при среднем диаметре основания 3 мм может достигать высоты 1500 мм. При коэффициенте стройности $K_c=500$ стебель ржи несет колос, который в 1,5 раза тяжелее самого стебля. До 3000 мм возвышаются стебли тростника, имея у основания $d=1,5$ мм. Высота тростника превосходит в 200 раз поперечник сечения. Здесь высокий K_c достигается путем целого ряда приспособлений к действию внешних нагрузок и гравитации, обеспечивающих стебелеватым системам высокую прочность и устойчивость (внутренней микроструктурой, свойствами материалов, формой стеблей, изменением структуры и формы стебля по высоте и т.д.).

Композитные материалы стеблей растений. При внедрении новых конструктивно-тектонических принципов в строительство высотных сооружений необходим поиск более совершенных строительных материалов, и здесь на первый план выдвигается задача изучения свойств материалов стеблей на уровне анализа не только элементов структуры живого организма, объединенных общими закономерностями, но и отношений, связей между элементами, с выявлением тех факторов, которые приводят к экономии и целесообразной затрате материала в природных структурах.

В соответствии с этим различные научные концепции строительного-механических принципов строения материала стеблей, в том числе исследования Г. Галилея, Р. Гука, Н. Грю, Г. Спенсера, С. Швенденера, Г. Габерландта, Е. Детлафсена, А. Бекетова, К. Тимирязева, В. Талиева, В. Раздорского и других, позволили ввести в обиход архитектурно-бионических исследований целый ряд принципов формообразования стеблей растений, что

¹ Здесь и далее под коэффициентом стройности K_c понимается отношение высоты к ширине (или диаметру) основания. Для указанных высотных зданий оно составляет $K_c=6+6,5$.



Рис. 38. Клеточная структура стеблей (фото с помощью сканирующего микроскопа). Разрез по клеточной структуре стебля; процесс клеточного деления

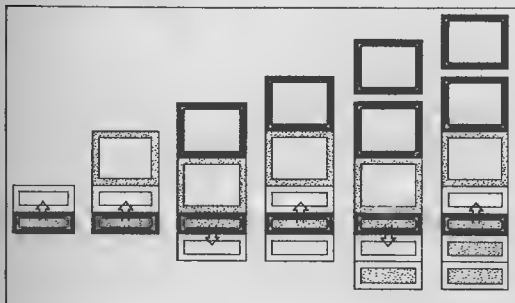


Рис. 39. Трехслойные оболочки клеток. Общий вид; схема; разрез по А-А
0 — срединная пластинка;
I — первичная оболочка; II — вторичная оболочка, состоящая из слоев C_1 , C_2 , C_3



привело к новому представлению о стеблях как о "комплексных сооружениях" [11].

Интерес представляет и другой аспект проблемы, где процесс конструирования становится в прямую зависимость от материала. Еще в 20-е годы ставились аналогичные проблемы: "В новых условиях не материалом определяется форма, а та или иная конструкция ищет материал и технику, наиболее ее выражающую"¹. Развивая эту мысль, архитектор А. Буров пришел к идее создания нового материала СВАМа, обладающего свойствами, приближающими его к "строительным материалам" живой природы [12].

Анализ структурного построения "строительного материала" стеблей — их тканей — показывает, что специализированные механические (несущие) ткани, а также клетки покровной, основной и проводящей тканей обладают конструктивными свойствами, т.е. представляют собой композитные материалы, выполняющие различные функции и образующие целостную комплексную систему (рис. 38).

Композитные материалы природы по прочности, сопротивлению, тепловому воздействию и ряду других свойств превосходят любой из входящих в них компонент. Для них характерна легкость, сочетаемая с высокой прочностью и способностью к упругим деформациям [13].

Прочностные характеристики материала стеблей, обусловленные структурным построением клеток, определяются также и структурой самих клеточных оболочек. Клеточная оболочка, собственно, и дала начало возникновению термина "клетка", когда Роберт Гук в 1667 г. с помощью светового микроскопа обнаружил клеточные оболочки на срезе бутылочной пробки.

Серия снимков, полученных в процессе исследования при помощи электронного сканирующего микроскопа (с увеличением в 8000 раз), позволила получить интересную информацию о строении клеточных оболочек (природных композитов). На основании изучения закономерностей развития и структуры клеточных оболочек в них можно выделить слои, различающиеся по своим физико-химическим свойствам и структуре (рис. 39).

Возникновение клеточной оболочки осуществляется путем образования из фрагмента (греч. "фрагма" — изгородь, разделение) так называемой клеточной пластинки. Растущая клеточная пластинка слоистая. Средний слой называется срединной пластинкой, по обе стороны от нее дочерние клетки начинают строить свою первичную оболочку, которая уже на первой стадии развития (строительства) содержит небольшое количество включений — элементарных фибрилл целлюлозы.

Фрей-Висслинг и Мюлеталер рассматривают первичную оболочку как слой, который первым откладывается клеткой. Этот слой, по их мнению, обладает целиком или частично дисперсной текстурой. Микрофибриллы этого слоя способны смещаться относительно друг друга, образуя многослойную сеть, содержащую целлюлозу, гемицеллюлозу и пектин [14].

Вторичная оболочка возникает путем наложения новых слоев на первичную. Она составляет основную массу и придает клетке ее окончательную форму. Как следствие вторичной слоистости клеточной оболочки ее пластические свойства отступают на задний план, а наиболее яркое выражение получают свойства упругости [14].

Основное вещество оболочек представляет собой мягкую пластическую массу (лигнин, суберин и др.), укрепленную фибриллами. Высокие механические свойства клеточных оболочек объясняются присутствием в них волокнистых структур (микрофибрилл), состоящих из высокомолекулярного вещества целлюлозы. Микромолекулы целлюлозных цепей, по данным ряда исследований, соединялись между собой и образовывали более сложные морфологические единицы (макрофибриллы).

Процесс "строительства" волокон из целлюлозы описан Фрей-Висслингом (1963): "Мы знаем, каким образом расположены кольца глюкозы в цепной молекуле целлюлозы, как целлюлозные цепи складываются в цепную решетку, как образуются элементарные микрофибриллы, видимые в электронный микроскоп, как они соединяются между собой, превращаясь в макрофибриллы, и как, в конечном итоге, из них образуются макрофибриллы, видимые в световой микроскоп. Дальше мы уясняем себе, как из таких микрофибрилл строятся клетки, имеющие структуру волокон,

¹ Домогацкий В.И. Материалы заседания ГАХН. ЦГАЛИ, 941, оп. 2, ед. хр. 3.

и каким образом эти клетки обрезают микроскопические волокна. Таким образом, ход развития структуры этих волокон известен на уровне всех порядков величин, начиная от молекул и кончая видимыми невооруженным глазом и осязаемыми тяжами, играющими в организме растения роль опорных тканей" [14].

Исследования разнообразных групп водорослей, от которых произошли высшие растения (Крегер, 1960; Престон, 1962), показали, что в них встречаются различные типы микрофибрилл.

"Создается впечатление, — пишет Фрей-Вислинг — что природа экспериментировала с разнообразными типами полисахаридов до тех пор, пока отбор не показал, наконец, что именно гибкие цепи целлюлозы могут служить наилучшим материалом для укрепления клеточных оболочек в борьбе растений за переход к наземному образу жизни".

Данные анализируемого материала свидетельствуют о том, что целлюлоза является основным структурным компонентом клеточных оболочек, содержание которой от начала "строительства" оболочек к их завершению возрастает с 1/3 до 2/3.

Вследствие неодинакового содержания целлюлозы клеточные оболочки обнаруживают различную степень пластичности (свойства изменять форму и размеры при действии нагрузки и сохранять остаточную деформацию после снятия нагрузки) и упругости (способности восстанавливать первоначальные формы и размеры после деформации и прочности).

В процессе формирования клеточные оболочки подвергаются вторичным превращениям, включая химические и физические изменения клеточных оболочек.

В частности, для механической (опорной) ткани особое значение имеет процесс одревеснения, приводящий к накоплению в клеточной оболочке особого компонента — лигнина.

Структура клеточной оболочки, достигающей своих окончательных размеров, приобретает устойчивость, когда оболочка инкрустируется лигнином. В дополнение к прочности на растяжение, которую придают оболочке целлюлозные микрофибриллы, она приобретает значительную прочность на сжатие.

Важное филогенетическое значение имеет тот факт, что лигнин впервые возник в природе при переходе растений от водного образа жизни к наземному, когда требования, предъявляемые к опорной системе растительного организма, увеличились.

Отложение лигнина происходит в срединной пластинке, первичной и вторичной оболочках. Содержание его достигает максимума в первичной оболочке, после чего снижается, падая до минимума уже в наружной части вторичной оболочки (Ланге, 1954). Это объясняется тем, что первичная оболочка, более бедная целлюлозой, требует для приобретения твердости гораздо большего количества лигнина, чем вторичная оболочка с характерным для нее высоким процентом спирально расположенных целлюлозных микрофибрилл [14].

Установлено, что процесс одревеснения клеточных оболочек зависит от внешних нагрузок, испытываемых стеблем. Так, в ткани, находящейся в растянутом состоянии, лигнина откладывается меньше, и часть клеток вообще не одревесневает. Напротив, в сжатой части стебля процесс лигнификации значительно усиливается.

Итак, можно сделать вывод, что "строительство" клеточной оболочки, взаимоотношения ее составных компонентов основаны на механическом принципе, способствующем созданию уникальных конструктивных элементов природы. При этом солидарная связь структурных элементов клеточной оболочки обеспечивает конструктивную совместимость различных по физико-механическим свойствам компонентов.

Это особенно ясно прослеживается в процессе одревеснения, когда пространство между микрофибриллами заполняется лигнином и образуется структура, которую можно сравнить с железобетоном. При этом

микрофибриллы соответствуют арматуре, а лигнин — бетону [14]. Но в отличие от железобетона (где бетон разрывается при относительном удлинении в 0,01% и поэтому высокие механические свойства металла используются в малой степени), сопротивляемость "лигнино-бетона" деформациям велика — он разрушается не ранее того, как разрываются тяжи арматуры — микрофибриллы. Поэтому механические свойства арматуры растительного материала используются полностью.

В современных конструкциях стальные армирующие стержни высокой прочности не составляют солидарный компонент обычного железобетона из-за несовместимости этих двух материалов в растянутых зонах сечения; чрезмерно ломкий при растяжении бетон не может выдержать даже десятой части деформаций, которые дает высокосортная сталь.

Исследования структурных композиций клеточной оболочки, выявление на анатомическом уровне физико-химических свойств отдельных слоев оболочки, свойства основного вещества или матрикса, в который погружены армирующие нити (микрофибриллы) и их взаимосвязь, представляют полезные данные, которые могут быть использованы при создании конструктивных материалов.

Таким образом, первое, что может способствовать эффективному развитию пространственных высотных современных сооружений, — это применение для их несущих систем новых строительных материалов, подобных по физико-механическим свойствам материалам каркасов растений. При задаваемой прочности повышается показатель пластичности материала, снижается, насколько возможно, удельный вес и т.д. Представляется, что такая задача технологам строительных материалов по плечу. Уже создаются различные материалы с заранее заданными параметрами их механических свойств. И, несомненно, что эталоном при создании новых конструктивных материалов могут быть растительные ткани с их превосходными механическими свойствами.

Второе, особое значение может приобрести использование следующих принципов:

солидарной работы структурных компонентов на всех уровнях структурной организации, где связи между элементами — прямыми исполнителями функции устойчивости биологической структуры — обеспечивают высокую надежность всей системы;

армирование, которое осуществляется как в слоях оболочек, где различная степень концентрации целлюлозных нитей, способствуя сочетанию пластических свойств первичной и упругих свойств вторичной оболочки, создает природный композит, так и общего целесообразного армирования структуры несущими тканями путем постепенного заложения и дифференцировки "арматуры" и "заполнения" в процессе роста и формирования тканей;

"сопротивляемости по форме", обеспечивающей минимальную затрату "строительного материала";

структурного построения, где дифференциация функций материала, участвующего в формообразовании "организма", происходит на основе дальнейшего углубления единства работы всех частей и такого многообразия внутренних связей, когда повышение "конструктивной" сложности почти не снижает, а то и увеличивает надежность, приводит к наиболее рациональному распределению материала в пространстве.

Формообразование многоярусных структур на основе материалов, подобных по своим физико-механическим свойствам природным, позволило бы создавать вертикальные пространственные композиции с принципиально новыми тектоническими характеристиками, так как они основываются на совершенно ином, не привычном для традиционных материалов сочетании свойств.

Упругогибкие свойства стебельчатых структур и возможности использования принципов их построения в архитектуре. Вертикальные структуры живой природы, в частности стебли злаков, представляют собой несущие пространственные многоярусные структуры, которые формируются по принципу вертикального зонирования — изменения функции и формы по вертикали, структурно членятся узлами на ряд междоузлий, имеют высокий коэффициент стройности, веретенообразную форму, отвечающую трехмерности пространства [15].

Бионический подход при анализе биологических объектов, в том числе необходимость изучения живых организмов с системных позиций, позволяет нам трактовать стебель как целесообразно действующую систему, которая в силу специфики конструктивно-тектонического построения форм выступает как информационная модель для создания принципиально новых пространственных систем, имеющих в природе соответствующий функциональный аналог. Путем проведенного автором анатомического анализа срезов стеблей (при помощи светового и электронного сканирующего микроскопов), позволившего проникнуть в их биоструктуру, вскрываются организация функциональных пространств и принципы формирования систем тканей.

Выявлено, что покровная система тканей образует внешнюю оболочку стебля и является "дышащим" ограждением стебля; принципы структурного построения покровной ткани могут быть положены в основу создания динамических саморегулирующихся устройств в ограждающих конструкциях высотных зданий и сооружений.

Основная ткань служит своего рода матриксом, в который погружены несущие элементы — опорные колленхимные тяжи, несущее склеренхимное кольцо и проводящие сосуды. В то же время она выполняет функцию связующего эластичного звена, что обеспечивает податливую связь пространственных несущих элементов.

Проводящая система, обеспечивая питания растительного организма, играет большую роль в обеспечении устойчивости всей вертикальной системы стебля. Пронизывая по вертикали все тело растения, она в сочетании с механическими тканями образует устойчивую упругогибкую пространственную структуру стебля. Принципы конструктивной совместимости проводящей системы могут представить большой интерес для решения коммуникационных систем высотных сооружений.

Опорная (механическая) ткань, состоящая из толстостенных плотно упакованных клеток, создает по периферии стебля мощное несущее склеренхимное кольцо. Принцип формирования механической ткани является одним из существенных факторов построения тектонической основы стебля. Междоузлия — это своего рода пространственные оболочки, где мелко- и крупноячеистое модульное формирование опорных тканей в сочетании с проводящими тяжами образуют несущую конструкцию. Пространственное формирование осуществляется по принципу постепенного облегчения конструкции по высоте, т.е. экономии "строительного материала", что весьма важно обеспечить при создании легких, пространственных, несущих вертикальных систем высотных сооружений.

Использование в архитектуре единства функционирования опорной ткани (аналог в архитектуре — несущие конструкции), основной и покровной ткани (аналог — несомые ограждающие конструкции) и проводящей системы (аналог — коммуникационное оборудование зданий) дает возможность расширить понимание тектоники в архитектуре и представить его не только как следствие несущих конструктивных систем, но и

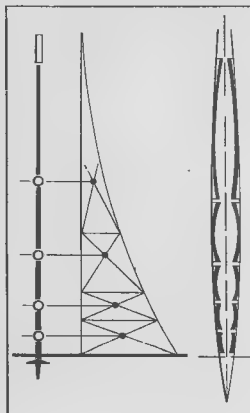


Рис. 40. Принципы формирования тактоники стебля

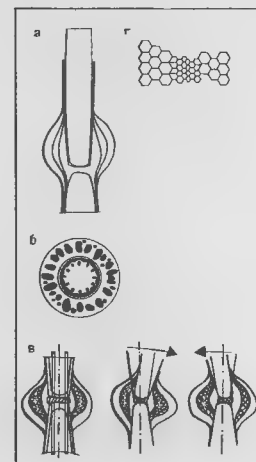


Рис. 41. Структурное построение узла злака-демпфера
а — продольный разрез узла; б — поперечный разрез узла; в — динамика узла; г — структура переходной зоны клеток

солидарной работы всех компонентов материально-технической системы здания [3].

Проявление подобного тектонического принципа мы наблюдаем и в современной архитектуре, в которой четко выявляется во внешней форме коммуникационная структура зданий (медицинские лаборатории университета Филадельфии Л. Кана, здание факультета искусств и архитектуры Йельского университета П. Рудольфа, административное здание Джорнал Сидзуока в Токио К. Танге, падающие дома и висячие города Г. Борисовского, практика внедрения изменяющейся во времени динамической трансформируемой архитектуры и т.д.) [16]. (Подробнее о тектонике см. гл. У1.)

Особое место занимают вопросы осуществления связи между отдельными элементами вертикальной структуры стебля, где упругое сочленение междоузлий осуществляется за счет особого устройства узлов, способных ограничивать колебательное движение междоузлий. В.В. Александрияном и Г.М. Саркисяном было доказано, что местоположение узлов на стебле почти точно соответствует центрам тяжести равновеликих площадей на эпюре изгибающих моментов, число которых равно числу междоузлий (рис. 40) [17].

При колебаниях расположенные в узле пластичные колленхимные тяжи за счет вязкоупругих даформаций, уменьшают амплитуду колебаний, т.е. гасят колебания и обеспечивают амортизирующую способность нижней части каждого междоузлия и стебля в целом.

Узлы стебля злака представляют собой демпфирующие устройства, принципы построения которых могут быть аналогами архитектурно-конструктивных решений таких устройств, что позволит создавать не жесткие, несокрушимо противостоящие ветру конструкции, а конструкции, заранее приспособленные к колебаниям (рис. 41).

Широкие возможности формообразования стеблей злаков определяются закономерностями структурной организации:

форма междоузлий и стебля в целом веретенообразная, что значительно уменьшает горизонтальный прогиб и придает стеблю восстанавливающую способность

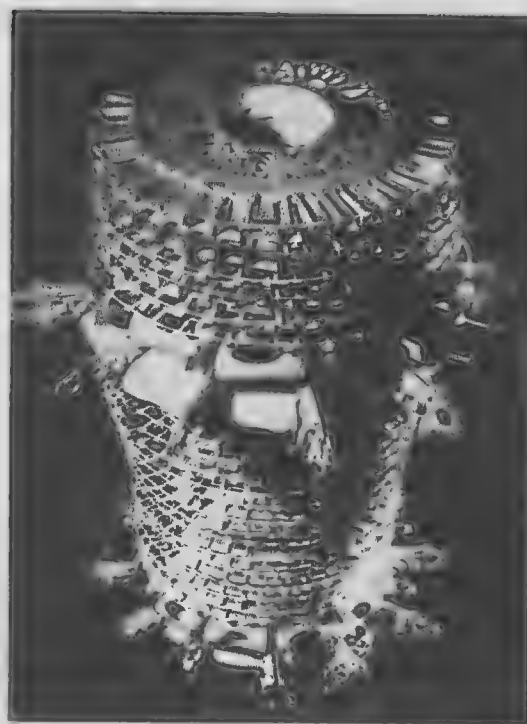
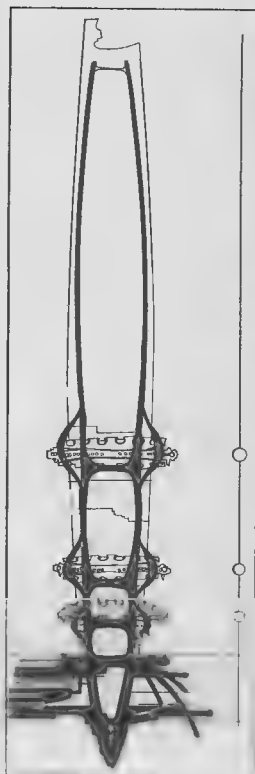
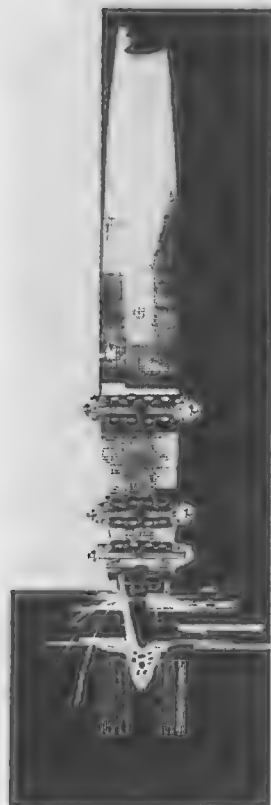


Рис. 42. Структурно-функциональная организация биотектона. Общий вид и разрез

Рис. 43. Фрагмент модели биотактона с видом на поперечный срез

при его отклонениях от положения устойчивого равновесия;

ткани, выполняющие опорную функцию стебля, — несущий каркас, отнесены на периферию;

круглые в плане междоузлия, сочлененные прочными узлами, демпферами, являющимися одновременно гасителями колебаний, создают в целом устойчивую упругогибкую пространственную структуру с большой несущей способностью;

узел-демпфер представляет собой динамическую систему, в которой междоузлия соединены упругими волокнами и окружены высокоорганизованной массой основной ткани с погруженными в нее вязкоупругими тяжами (амортизаторами). Форма тяжей такова, что при изгибе стебля они претерпевают пластические изменения, и это помогает ограничивать амплитуду колебательных движений междоузлий.

В целом стебель злака, как функциональная модель, обладающая упругогибкой конструктивной системой, может рассматриваться в качестве аналоговой конструктивно-тектонической системы высотного сооружения с демпфирующими элементами.

Использование выявленных принципов открывает возможности создания принципиально новых упругогибких вертикальных тектонических систем с большим коэффициентом стройности и малой площадью опоры.

Влияние окружающей среды на формирование тектонической структуры. Исследование тектонических закономерностей стебельчатых растений неразрывно связано с изучением взаимоотношений живых организмов с окружающей средой.

В условиях усиливающегося воздействия человека на природу, на протекающие в ней процессы и взаимо-

связи особую актуальность приобретает сопоставление целостности среды, как материально-пространственной составляющей системы, с целостностью живого организма и среды его обитания.

Эрнст Геккель, называя экологию "наукой об эконормии природы", пишет:

"Всякий знает, что разное количество света, тепла, влажности оказывает определенное воздействие на величину, окраску, форму и внутренние особенности строения организма, на морфогенез и физиологические функции, указывая на факты чрезвычайной чувствительности организма к влиянию среды, когда каждое изменение климата, окружения и пр. непосредственно вызывает определенные изменения организма" [18].

Живой организм, утверждая себя в естественной среде, перерабатывает информацию об окружающем пространстве, отвечает на внешние воздействия соответствующими реакциями, обеспечивающими ему возможность существования в широком диапазоне условий среды с одновременным поддержанием внутри организма стабильных условий, необходимых для его надежного функционирования.

Одним из важных экологических аспектов, свидетельствующих об активном процессе взаимодействия организма со средой, является наличие некоторого резерва сил на случай непредвиденных обстоятельств, возможность перестройки путем самоорганизации тектонической структуры согласно внешним изменениям.

Стебель как живой организм находится в непосредственной связи со средой. Информационное действие факторов внешней среды вызывает в живых организмах сложные динамические процессы — ответные реакции. Эти процессы, происходящие на высоком структурно-функциональном уровне организации живых систем, обеспечивают надежность и устойчивость их структурной организации при широком комплексе внешних воздействий.



Рис. 44. Модель сверхвысотного сооружения с демпфирующими устройствами. Общий вид и фрагмент. Архит. А.И. Лазарев

Система ограждающих поверхностей стебля участвует в регуляции теплового, влажностного и газового режима среды посредством транспирации, фотосинтеза и других физиологических процессов.

Рассматривая тектонические структуры стебельчатых растений, мы наблюдаем огромное разнообразие их форм, которые прошли сложный эволюционный путь непрерывных приспособлений к конкретным условиям существования. Их структура, обеспечивая высокую надежность, устойчивость, способность воспринимать огромные ветровые нагрузки, складывалась под влиянием самых разнообразных факторов внешней среды. Таким образом, стебель не является каким-то случайным явлением на поверхности земли.

Следовательно, изучая биологические структуры во взаимодействии с окружающей средой, мы подходим к решению одной из важных задач архитектурной бионики — создания "открытых" по отношению к окружающей среде пространственных систем, "дышащих" урбаструктур [9].

Бионические исследования связаны с изучением лишь того, что присуще как живым, так и техническим системам. Приспособительные функции, характерные для живых систем, в какой-то степени могут быть воспроизведены при создании оптимальных вариантов технических решений. В частности, поверхность наружного ограждения высотных сооружений может быть использована для накопления падающей на нее энергии солнечных лучей и ветра. Причем конструирование сложных саморегулирующих систем по аналогии с биосистемами, где формообразующими элементами будут специальные обменные устройства и солнечные батареи, будет в полной мере отвечать требованиям "экологического конструирования" среды, новой образной выразительности архитектуры здания.

Принципы гибкого приспособления, эффективные функционально-пространственные связи, динамическое равновесие, экономия пространства, минимизация энергетических затрат, адаптационные механизмы, характеризующие надежность организма, должны найти практическую реализацию на основе новейших достижений техники в архитектуре и градостроительных объектах.

Познание этих процессов посредством моделирования окружающей среды позволит представить экологически обоснованную пространственную организацию архитектурных организмов.

Экспериментальное моделирование упругогибких систем в зданиях и сооружениях. На основе выявленных закономерностей структурного построения материалов стеблей, принципов структурно-функциональной организации их тектоники, анатомических и экологических системных взаимосвязей строится логическая модель, где специфические биологические признаки структурной организации живых систем синтезируются в пространственно-временной модели, условно названной "биотектон".

Биотектон — это сложная система, в разработку которой заложена аналоговая программа "сооружение $\approx$ живой организм".

Пространственно-временные связи этой системы будут определяться:

получением и обработкой информации о действующих факторах окружающей среды и реакцией биотектона на эти факторы;

совершенствованием биотектона в результате учета влияния окружающей среды (структурно-функциональная организация, включая процессы формирования пространственной структуры и организации жизненной среды, пространственно-временные взаимоотношения структурных элементов, свойств несущих материалов,

взаимосвязи уровней структурной организации); жизнеобеспечением, т.е. превращением биотектона в адаптирующийся организм, когда путем физических трансформаций будет достигаться возможность существования в широком диапазоне условий внешней среды с одновременным поддержанием внутри организма стабильных условий, необходимых для устойчивого его функционирования — "гомеостазиса".

Однако создание вертикальных пространственных структур с учетом широких требований экологизации среды, с использованием бионических принципов организации внутреннего саморегулирующего пространства требует проведения серьезного комплексного исследования со смежными областями наук и должно опираться на интегрирование возможности биофизики, биомеханики, бионеорганики, кибернетики и т.д.

Творческое осмысление структурной организации исследуемых биосистем на данном уровне базируются прежде всего на следующих основных объемно-планировочных и конструктивных принципах:

формообразующих: веретенообразная (сигарообразная) форма — материал — технология;

структурных: упругогибкие конструктивные системы с демпфирующими устройствами, междемпферные несущие оболочки, ограждающие поверхности типа "дышащая стена" [9], несущая коммуникационно-транспортная система, корневая (фундаментная) система;

функциональных: организация внутренних пространств на основе мелко- и крупноячеистого модуля.

На этапе установления концепции проектирования биотектона основное внимание уделяется структурно-функциональной организации по вертикали (рис. 42).

Формирование пространственной структуры сооружения, развивающегося по вертикали, можно определить условно тремя формообразующими уровнями:

первый уровень — общий, указывающий на пространственное построение объема модели и ее конструктивную схему, отражает взаимодействия пространственно-тектонической структуры с аэродинамическими и сейсмическими нагрузками;

второй уровень — указывающий на строение частей, формирующих вертикаль, т.е. междемпферных несущих оболочек, демпфирующих устройств и опорной системы;

третий уровень — уровень, приближающийся к единству пространства обитания с заданной функцией (рис. 43).

Общее структурное построение вертикали в конструктивном отношении представляет собой систему несущих веретенообразных оболочек, обладающих повышенной сопротивляемостью ветровым и сейсмическим нагрузкам, соединенных между собой демпфирующими устройствами. Все здание стянуто общими коммуникационными тканями, выполняющими несущую функцию и проходящими по внутреннему периметру корпусов (рис. 44).

Структурная организация функциональных пространств, большая несущая способность, способность воспринимать ветровые перегрузки за счет формирования несущего остова по периферии и гашения колебаний посредством специальных демпфирующих устройств, особенно при землетрясениях, а также использование в качестве несущих конструкций коммуникационных систем создают в целом упругую, устойчивую к воздействиям внешней среды пространственную организацию архитектурной формы.

Демпферы являются важными формообразующими элементами пространственной вертикальной структуры.

В функциональном отношении это сооружение многоцелевого назначения, где ярусное формирование пространства по вертикали, разграниченное горизонталь-

ными поясами сетей жизнеобеспечения, является предпосылкой создания благоприятных условий для жизни, работы и отдыха.

Многофункциональная вертикаль включает в себя: жилую зону, административную зону и зону коммуникационно-транспортных систем.

В нижних уровнях сооружения по внешнему периметру предлагается разместить жилую зону, включающую подвижные, динамические трансформируемые и саморегулирующиеся пространства.

Пространство внутреннего ядра используется для размещения производственных зон, регулируемых и управляемых координирующим центром и службой диспетчеризации всех технологических систем.

Верхний ярус займет техническая зона, включающая технические системы жизнеобеспечения (тепловая защита, системы накопления ветровой энергии и солнечного энергоснабжения здания); саморегулирования световой среды, самоорганизации (перестройки) тектонической структуры при неблагоприятном воздействии среды; системы, обеспечивающие перераспределение усилий структурных элементов; регулирующие системы, обеспечивающие устойчивое положение сооружения относительно вертикальной оси.

Конструкция ограждающих поверхностей предусматривает автоматическую регуляцию температур, давления, газовлажностного режима внутренних пространств посредством динамических саморегулирующихся устройств и ограждающих элементов, дающих возможность управления внутренними процессами через систему "дышащая стена" [16].

Осуществление функционального зонирования сверхвысотного сооружения обеспечивает тектонически правильное структурное построение многофункционального организма, развивающегося по вертикали.

Такие архитектурные организмы, давая существенный экологический эффект и являясь системами с полным кругооборотом веществ и энергии, будут способствовать сохранению окружающей среды. Использование бионических принципов формообразования высотных сооружений должно поднять на более высокий уровень научной и методологической строгости архитектурный поиск в этой области, являющийся сегодня актуальной проблемой теории и практики советской архитектуры.

БИОУРБАНИЗМ*

Биогород. В ряде наших соображений биологические принципы урбанизма служили как бы исходной точкой и непосредственными примерами осознания отрицательных сторон существующей средовой ситуации и, соответственно, были катализатором в поиске оптимальных решений. Поэтому урбанистические результаты, достигнутые путем биологических аналогий, получали адекватное название биоурбанизма.

Множество функциональных проблем связано с важной для человека проблемой — формированием благоприятной среды. Установленные биофункциональные предпосылки обуславливают ряд формообразующих предопределений: изогнутые линии планов, асимметричное их расположение, строительство общественных сооружений, индивидуализированных жилых единиц в форме террас, сужающихся кверху, цветовая обработка объектов как по отношению к их высоте, схеме транспортных линий, так и числу подобных элементов. Специфические биофункциональные требования, выраженные указанными пластическими результатами, неизбежно создают специфическую пластическую экспрессию биоурбанистической агломерации.

* © Mutnjakovic Andrija (Jugoslavija).



Поэтому новизна функции и моделирование биоурбанизма — это логическое следствие, вытекающее из необходимости создания более человеческой жилой среды.

От Амстердама до Чандигарха, от Бразилии и до юго-западной Москвы архитекторами овладело идолопоклонство — поклонение блокам параллелепипедов.

Социальные успехи в массовом удовлетворении жильем людей, а также санитарно-гигиенические результаты представляют значительный шаг вперед по сравнению с предшествующей городской структурой. Тем не менее потенциальные возможности архитектуры, вскрытые великими мастерами, не осуществились. Такое блочное градостроительство, застывшее в стиль, стало воплощением нашей цивилизации.

История свидетельствует о том, что это явление не характерно для профессии архитектора-градостроителя. Например, средиземноморские города построены как органический комплекс домов, улиц, террас, скверов, лестниц, лоджий, дворов, переплетенных и связанных между собой, построенных, вновь перестроенных и измененных в течение веков с человеческой доброжелательностью от поколения к поколению. Новые пространства, новые детали или цвет обеспечивают всегда постоянную свежесть этой среды. Главный фектор этих городов заключается не в жестко установленных формальных градостроительных планах, а в удобстве горожан, на основе которого определялись основные показатели, остальное же зависело от их индивидуального творчества. Эта историческая градостроительная концепция более современна и в большей степени отвечает сегодняшним требованиям, чем самая новейшая планировка, состоящая из блоков и башен.

Критика в большей или меньшей степени ратует за контрконцепцию. Представим себе набросок градостроительной концепции, основанной на средиземноморской модели города¹. В ней мы попытаемся: 1) установить основные достижения градостроительства во всяком случае в течение века, времени, фактически минимального по отношению к жизни города; 2) пред-

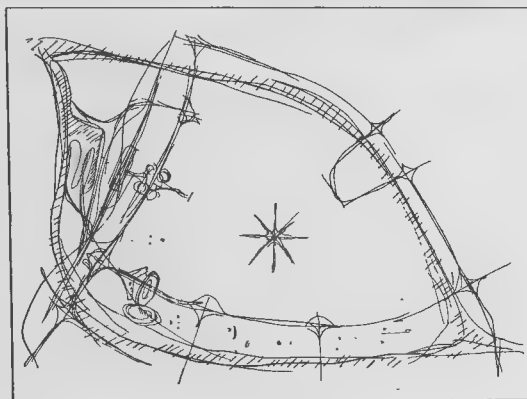


Рис. 45. Биогород. Концептуальная модель жилого района Братиславы (ЧССР) — Петржалка (по материалам международного конкурса "Исследование урбанизации южного пригорода Братисла-

вы"), 1967 г. Архит. А. Мутнякович. Общий вид; генплан района, расположенного на острове, образуемом р. Дунай и каналом

сказать направления развития города; 3) оставить будущим поколениям возможность полного и окончательного формирования города согласно их потребностям, материальному и техническому уровню.

Элементы этой концепции следующие: на основе ожидаемой демографической экспансии в зоне Петржалки и в пределах рационального использования земли под сельское хозяйство, промышленность и жилье необходимо обеспечить удобства для оптимального числа от 300 до 500 000 жителей. Развитие транспорта с наметившейся склонностью к массовому использованию средств передвижения предполагает, по нашему мнению, в будущем основной формой перемещения индивидуальный и общественный воздушный транспорт. Развитие технических конструкций создало благоприятные условия для массового производства сверхлегких строительных пластических материалов, так что соору-

¹ Концепция ориентирована на конкурсный проект жилого района Братиславы — Петржалка, который был разработан А. Мутняковичем. (Примеч. Ю.Л.).

жение многоэтажных структур в 100–200 этажей не будет представлять ни технических, ни финансовых проблем.

Кроме того, в соответствии с нашей концепцией следует:

избегать парализованных пространств блочного градостроительства;

уклоняться от растекания поселений и связанных с ним проблем транспорта и сантехнической системы;

создавать организацию жилища с соответствующими жизненными функциями в непосредственном контакте с местами отдыха и открытым ландшафтом;

избегать законченности поселений в отношении расположения зданий или детальной планировки квартир, так чтобы завершение целого комплекса или перепланировка любой квартиры, ее оборудование, размеры, детали фасада были бы оставлены для свободной интерпретации нынешних и будущих потребителей.

Другим элементом этой концепции является основной направляющей индекс развития (подобно индексам средиземноморских городов, управляющих зданиями в течение веков), который сопровождает городскую агломерацию от начала до предполагаемого конца и придает ей на любом этапе развития характер упорядоченного целого.

Следующий элемент концепции — общественное сознание жителей города, а также финансовые и земельные ресурсы, необходимые для такого эксперимента.

Задуманную таким образом концепцию можно осуществить в разных вариантах. Нами выбран один, который, кажется, в наибольшей степени соответствует условиям земельного участка, очертаниям и визуальному контакту с уже существующим городом (рис. 45).

Весь организм города необходимо поместить в одно сооружение, план которого очень прост. Центральное ядро имеет общественное назначение, в нем находятся центры коммунального обслуживания, образования, культуры, здравоохранения, администрации. В присоединенных к ядру рукавах в форме уступов размещено жилье. Выбор числа рукавов носит случайный характер. Среди рассмотренных возможностей с тремя, четырьмя, пятью или шестью рукавами варианты с тремя и четырьмя рукавами были отброшены из-за неполного использования занимаемого земельного участка, а вариант с шестью рукавами был признан непригодным из-за ограниченности пространства при соединении рукавов с ядром.

Таким образом, решение с пятью рукавами оказалось оптимальным в отношении рационального использования свободной зоны между рукавами. Величина ядра и рукавов определяется удобствами для 250–300 тыс. жителей. Предположительно длина каждого рукава 750 м, ширина — от 10 до 20 м, начиная с уровня 3-го этажа. Рукава поднимаются на 120 этажей. Общая зона занимает около 2 800 000 м². Ядро имеет диаметр 50–75 м, высоту 150 этажей с общей зоной около 2 650 000 м². Оно разделено согласно расчетам, на отдельные общественные зоны — ясли, школы, магазины, больницы, гаражи и т.д. Таким образом, общая зона около 5 400 000 м² представляет собой достаточное пространство для организации жилых и всех вспомогательных зон, а также современной урбанизированной жизни 300 тыс. жителей.

Внутренняя транспортная организация имеет пять характерных элементов:

1) подъездные транспортные дороги связаны с главными городскими дорогами, входя в начале зоны отдыха жилого района в туннели, по которым они достигают первых пяти этажей центрального ядра (зона около 80 000 м²) и разветвляются на разных уровнях на грузовой, общественный и индивидуальный транспорт;

2) летные пути для авиатранспорта разделены: общий и грузовой авиатранспорт приземляется на платформу, расположенную на кровле здания, тогда как индивидуальный может останавливаться в любой точке здания;

3) первичный вертикальный транспорт соединяет подъездные уровни дорожного транспорта у основания здания с взлетными площадками авиатранспорта наверху, с продуктовыми станциями на каждые 15–20 этажах, связанных с общественными площадками и погрузочно-разгрузочными товарными складами;

4) горизонтальная транспортировка вдоль рукавов здания осуществляется посредством пассажирских и грузовых транспортеров, которые расположены через каждые 15–20 этажей и идут от первичной вертикальной транспортной станции к вершине рукавов;

5) вторичный вертикальный транспорт, размещенный по горизонтали на расстоянии 40–50 м друг от друга, соединяет уровни с транспортерами 15–20 жилых комплексов.

Гаражи для средств передвижения предусмотрены в башнях центральной части ядра: наземные средства передвижения — внизу, а воздушные — наверху.

Система жилой структуры основана на ансамбле трех–шести жилых единиц, концентрирующихся вокруг вторичных лифтовых шахт. Объединяя их в каркасе основной несущей структуры, получаем переплетенное целое из террас, лоджий, скверов, открытых и закрытых пространств, предназначенных для индивидуальной жизни и индивидуального проекта перестройки.

Основной направляющий ритм всего здания так огромен, что способен поглотить любое отклонение отдельных жилых единиц от целого в отношении индивидуального оформления людьми своих квартир. Это явление соответствует упоминаемым свойствам средиземноморских городов, только в данном случае перед нами предстает вертикальная структура города (или жилого района) вместо горизонтальной.

Система конструкции с ядром основана на идентичных принципах свободно спроектированных изменяемых пространств. Генплан указывает на необходимость размещения первичных лифтов в центре ядра. Торгово-обслуживающие и общественные пространства надо размещать во внутренней части ядра с ориентацией на внутренние скверы, тогда как детские, воспитательные, общественные учреждения следует устраивать вдоль края ядра. Обширные нижние и верхние внутренние пространства ядра предназначены для складов и гаражей.

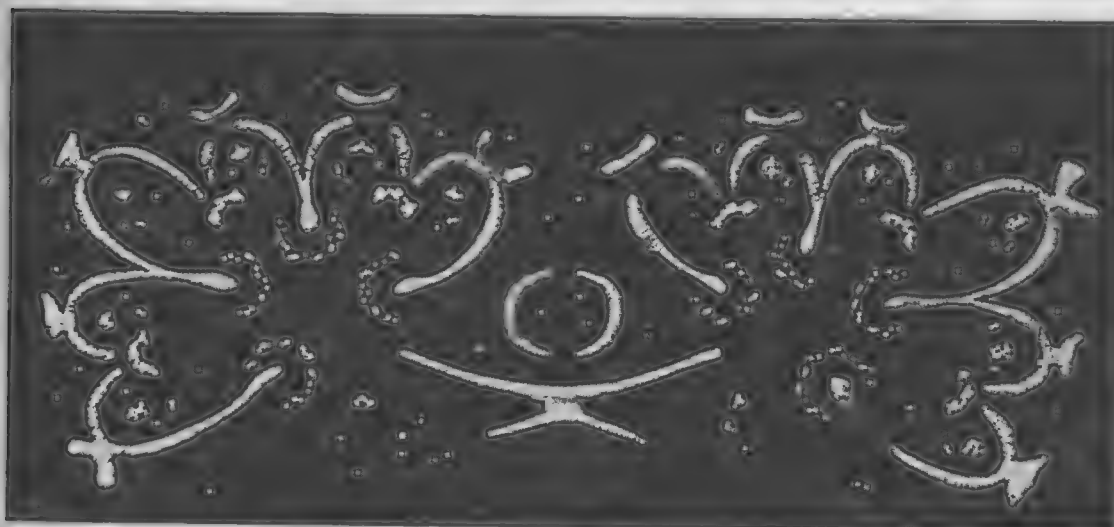
Часть земельного участка вдоль здания в форме круга площадью около 500 га предоставляется для отдыха жителей. На каждого жителя приходится около 16 м² парковой зоны, предназначенной для физического и культурного отдыха.

Остальные пространства связаны с центральной зоной отдыха: спортивные площадки простираются на 150 га, а автомобильная стоянка с отелями занимает площадь 20 га.

Часть зоны, отведенной для промышленности, оставлена свободной, хотя размещение промышленных предприятий здесь было бы нежелательно.

Детальное решение частей ввиду концептуальной исключительности предлагаемого проекта не рассматривалось. Проект также не имел ограничений высоты здания с его воздушными линиями, поскольку тенденция в развитии местного авиатранспорта ведет к использованию вертолетов, тогда как развитие межконтинентального авиатранспорта выдвигает требования относительно пространств и расстояний между городом и аэропортом, которые в настоящее время не удовлетворяются.

Предложенный проект дает следующие результаты:



создаются условия для локализации демографической экспансии в течение одного века;

городской комплекс организуется на основе связанных функций жилья (здесь не рассматривалась функция работы);

каждому жителю предоставляется возможность контакта с атмосферой всей окружающей среды до горизонта;

достигается непосредственная оптическая и физическая связь между зонами жилья и отдыха;

Рис. 46. "Новый Белград". Конкурсный проект "Жилой район на 30 тыс. жителей в Новом Белграде", Белград (СФРЮ), 1955 г. Архит. А.

Мутнякович (фото А. Каропий). Общий вид жилого района; генплан; панорама района

подготавливаются условия для будущего развития авиатранспорта;

вся жилая зона освобождается от неудобств и опасности дорожного транспорта;

осуществляется оптимальная связь между назем-

ным транспортом и авиатранспортом;

резко уменьшается площадь, занимаемая зданиями и дорогами;

несмотря на высокую стоимость многоэтажной конструкции, сокращается стоимость здания благодаря сокращению средств на огромное число коммунальных услуг — дорог, оборудования, транспорта за счет их особой, экономичной, компактной организации;

градостроительная концепция подготовлена с учетом предполагаемого развития конструктивной технологии;

плотность населения варьируется путем последующего изменения проектной высоты здания;

предусматриваются меры дальнейшего увеличения зоны использования путем возведения соответствующего оборудования, так как расстояния не влияют на отдельные свойства комплекса;

каждому жителю дается право внешнего и внутреннего вмешательства в его собственный жилой комплекс без какого бы то ни было последствия относительно нарушения архитектурного качества целого;

создаются объективные условия для синтеза отдельных социальных процессов.

Перечисленные выводы не исчерпывают всего. Ряд моментов требует дополнительных доказательств, которые недоступны для данного этапа работы. Однако есть логика жизни, говорящая в пользу предлагаемой концепции.

Существует опасность недиалектического понимания проекта. Его автоматически могут признать нереальным. Он нереален в отношении реализации строительства сегодня 150-этажного жилого комплекса. На нынешнем уровне технологии строительство трех-десятиэтажных зданий, вероятно, более рационально. Однако размеры элементов комплекса приспособлены к нынешним конструктивным формам. Увеличение рукавов до 30 этажей соответствует появляющимся тенденциям в развитии конструкций для жилого строительства. Такие конструкции удовлетворяют прогнозируемое развитие Петржалки на следующие десять лет.

Это означает, что предлагаемая градостроительная система не является нереальной в самое ближайшее время. Часть, которую можно назвать нереальной сегодня, была запрограммирована для конструкций с учетом перспектив их поэтапного развития: на десять, двадцать или пятьдесят лет вперед. Однако, исходя из тенденции быстрого развития строительной технологии, можно назвать нереальными именно проекты, основанные на нынешнем уровне технологического развития. Таким образом, "реальные" проекты оказываются совершенно неблагодарными. Изложенные размышления над задачами, указанными в концепции, нашли свое применение также при проектировании жилого района на 30 тыс. жителей в Новом Белграде на набережной р. Савы (рис. 46). Предлагаемое решение представляет только идею, а чтобы ее четко показать, мы сознательно упустили несущественные детали. Предлагаемый проект является попыткой разработать академическую схему современного стандартного градостроительства с использованием современных научных знаний.

Трактовка поселения и его центров, района с районным центром, природных достопримечательностей (р. Сава), транспортных линий и участков, отведенных для отдыха, трактовка формирования района полностью соответствует концепциям, представленным выше.

Проблема возможности осуществления остается открытой из-за отсутствия проектного опыта, необходимого для возведения такого жилого здания. В качестве конструктивного и технического решения предполагалось либо использовать известный советский опыт строительства из элементов, полностью изготовленных

на заводе и поднятых кранами в соответствующих местах, либо же использовать локальную систему, предложенную архит. Жежели, при которой возведение здания начинается сверху.

Система строительства жилого комплекса предполагалась в два этапа. Первый этап включал строительство нижней части сооружения для 20 тыс. жителей, второй — строительство верхней части сооружения для 15 тыс. жителей. Он не предусматривал расширения уже построенной части; надстройка должна вестись при помощи кранов.

Осмысленное таким образом строительство представляется реальным. Жители могут принять участие в окончательном завершении своих квартир.

Подобные размышления по проблемам современного урбанизма привели к убеждению, что Новый Белград с его эпитетом "Новый" будет содержать в себе факторы, более многочисленные, чем число календарных дней.

Желание исследовать, т.е. полностью представить себе положительные и отрицательные аспекты проблемы, и желание придать индивидуальный характер Белграду — все это лежит в основе данного размышления и представляемого проекта.

Мобильная архитектура. Максимальный потенциал человеческой энергии с использованием последних достижений человеческих познаний в течение веков от Гуран Аби до Ле Корбюзье весьма часто вкладывался в интерпретацию храма. В результате все историческое творческое воображение и инженерное искусство достигало своей вершины в архитектуре храмов.

Сегодня мы пытаемся создать дом, соответствующий определенному состоянию духа, в котором должен найти воплощение максимальный потенциал инженерного искусства и творческого воображения. Когда-то пространственная истина архитектуры, скажем, купол Брунеллеско, была последним словом своего времени. Сегодня другая пространственная истина архитектуры, возможно капелла Роншан Ле Корбюзье, является последним словом архитектурно-художественного творчества: архитектура здесь отказалась шагать вместе с инженерной истиной, которая вздымается к звездам.

Конечно, это разногласие не следует понимать как специфический недостаток архитектуры. Заключенная внутри себя архитектурная логика в своей системе мышления потеряла реальный контакт с развитием других профессий, необходимый для создания симбиоза — с техникой машины. Последняя как независимая отрасль, наоборот, получила фантастическое развитие.

В этом взаимоотношении между самоуверенной пространственной архитектурной истиной (с ее совершенным овладением пространством) и инженерной истиной (с ее сложным реестром механических достижений — движения, плавания, ныряния, взлета, текучести) имеется существенное расхождение в результатах. Окаменелая и конкретизированная истина архитектуры тащится за мобильной истиной машин.

Некогда энергия, полученная посредством применения соответствующей машины, была основой существования и прогресса нашей цивилизации, и сейчас нет причин нам отказываться от использования той же самой энергии при создании архитектурных проектов.

Синтезируя энергию и архитектуру, мы привносим кинетическое качество в статическое существование архитектуры: архитектура становится мобильной. Безжизненная материя здания начинает пульсировать жизнью биологического организма, жизнью человека. Мобильная архитектура удовлетворяет умственные и физиологические потребности человека с его микрокосмосом, открывает для него макрокосмос Солнца или звезд, ночи или дня, сливая его с природой. Архитектура

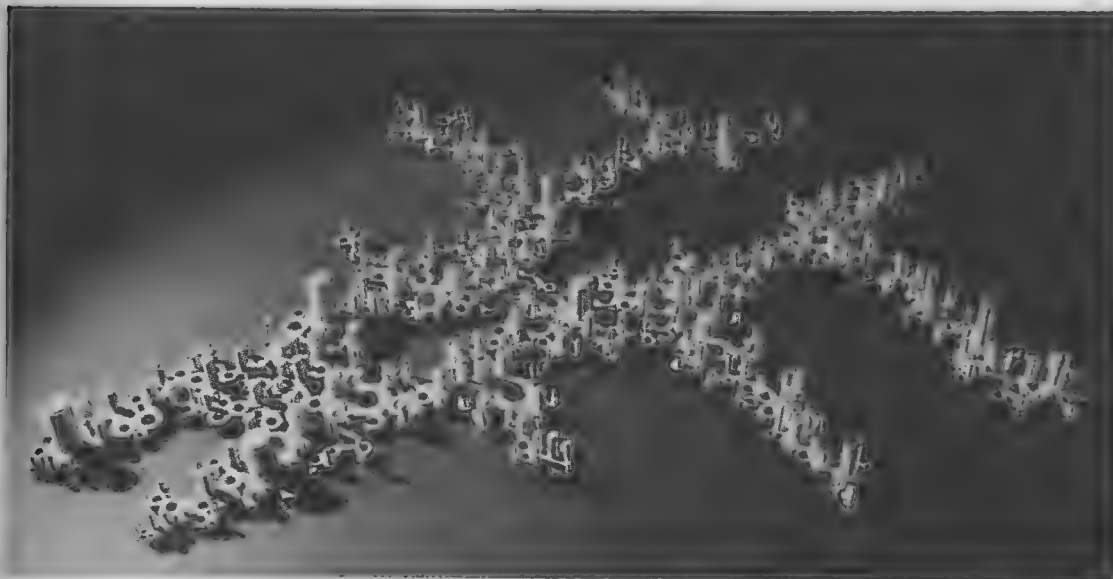


Рис. 47. Город-случайность. Югославские архитектурные конкурсы. Городской центр южного Загреба, 1971 г. Архит. А. Мутнякович. Общий вид; генплан центра

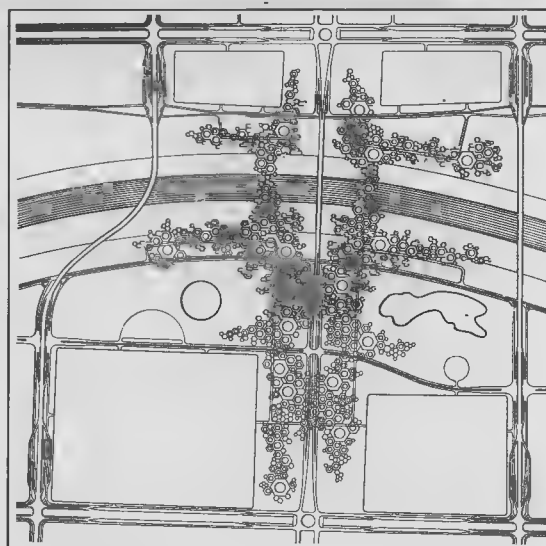
становится доступной и приспособленной к индивидуальным запросам ее потребителя.

Такую архитектуру, учитывая широкий диапазон нынешней цивилизации, можно создать сейчас. Логическим поводом для этого будут визуальные исследования кинетического искусства; это соответствие не случайно, оно глубоко логично по существу проблемы. "Мобильный цветок" ламела защищает внутреннюю микросреду, открывая интерьер вселенной. Пространственные и композиционные вариации от закрытой до едва открытой ламины и через ряд переходных этапов к широко открытому кольцу могут доставить радость. Дом-ламела сделан по аналогии со структурной логикой крыльев аэроплана. Обивка из нержавеющей стали была не только следствием этой аналогии, но и результатом проектной идеи. Элементы дома-ламела двигаются при помощи стандартных пневматических приводов.

Таким образом, поиск потерянного симбиоза инженерного искусства и проектного воображения дал удивительный результат. Примером такой мобильности архитектуры служит, например, конкурсный проект современного собора Св. Петра (рис. 48).

Мобильный дом (дом + мобильность = "домобиль"). Квартира не является автомобилем. Однако такое возращение по своей сути равноценно высказываемому ранее предположению, что невозможно сконструировать летающую машину.

Но давайте предположим, что квартира является автомобилем. Сущность этой идентификации заключается в подчинении производства и эксплуатации квартир законам, присущим механизмам. В производстве — это обязательность индустриальной автоматизации; в эксплуатации квартир — способность реагировать на команды человека в соответствии с заданной программой и сознательными его действиями; в экономике — возможность гигантской серийности как основы экономического эффекта.



Такую программу действия невозможно представить в общепринятых рамках жилой архитектуры.

Эксплуатацию типовых жилых комплексов можно допускать только в очень маленьких сериях, иначе поселения обретут утомительное однообразие и квартиры будут вызывать у жильцов отвращение; в производстве необходим поиск разнообразия, поскольку при мало-серийности замысел остается ремесленным по своему характеру; экономика же страдает от низкой производительности труда, отражающейся на высокой стоимости жилищного строительства.

Примитивное понимание архитектуры как индивидуализированной формы статического характера является почти единственной формой ее существования сейчас. Идея, логичная в прошлом, сегодня стала анахронизмом. Статический характер, обозначающий долговременную идентичность в способе использования и в визуальном восприятии, должен был предопределять создание индивидуализированной формы. Эта глубоко гуманная концепция находится в настоящее время в

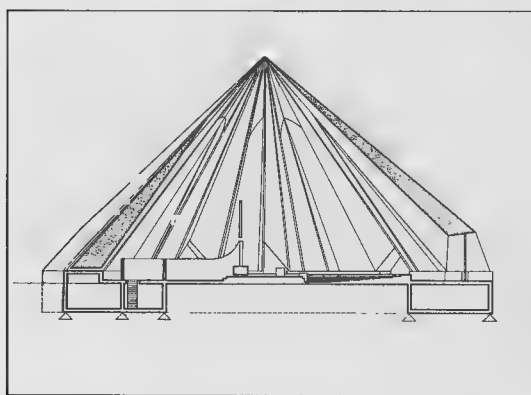
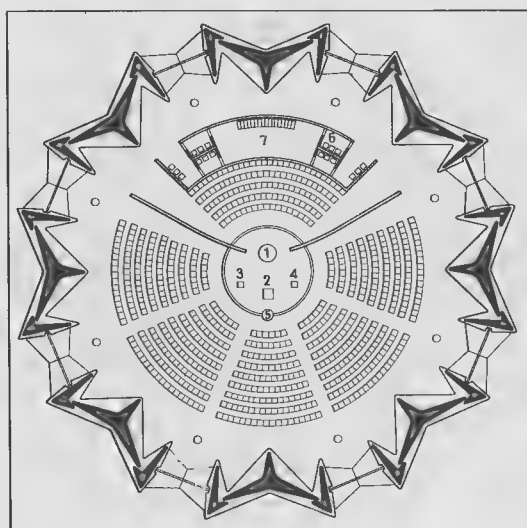
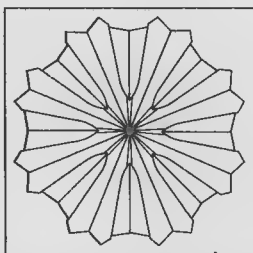


Рис. 48. Мобильная архитектура ("домобиль": дом + + мобильность). Югославский архитектурный конкурс на современный собор Св. Петра. Сплит, 1970 г. Архит. А. Мутнякович. План кровли; план; разрез; общий вид с раскрытой кровлей

1 — дарохранительница;
2 — место для причастия; 3 — амвон;
4 — алтарь; 5 — крещальня;
6 — исповедальня;
7 — сакристия



противоречии с логикой индустриального строительства.

Аналогичный тупик был успешно преодолен производством в ряде других областей хозяйства: устойчивое производство десяти миллионов автомобилей в год в целом удовлетворяло современные потребности.

Такое огромное серийное производство не уничтожает творческий потенциал человека, наоборот, оно даже его стимулирует, так как налаженное производство позволяет периодически изменять форму автомобилей.

Рассмотрение жилища в этом аспекте приводит нас

к выводу, что вместо того, чтобы удовлетворять человека огромным числом пластических и функциональных решений индивидуальных статических квартир, можно достигнуть соответствующего или даже большего удовлетворения небольшим числом решений динамичных квартир, которые посредством управления могут принимать различные функциональные и пластические формы и состояния при тех же эксплуатационных возможностях и структуре.

Итак, вместо понятия "квартира-здание" мы пришли к понятию "квартира-механизм" (на фоне разрабатываемых нами концепций "города-механизма" и "города-случайности" (рис. 49). Нынешнее решение "дома-механизма" названо домобилем. Здесь нужно подчеркнуть главное: серийное изготовление квартир, понимае-

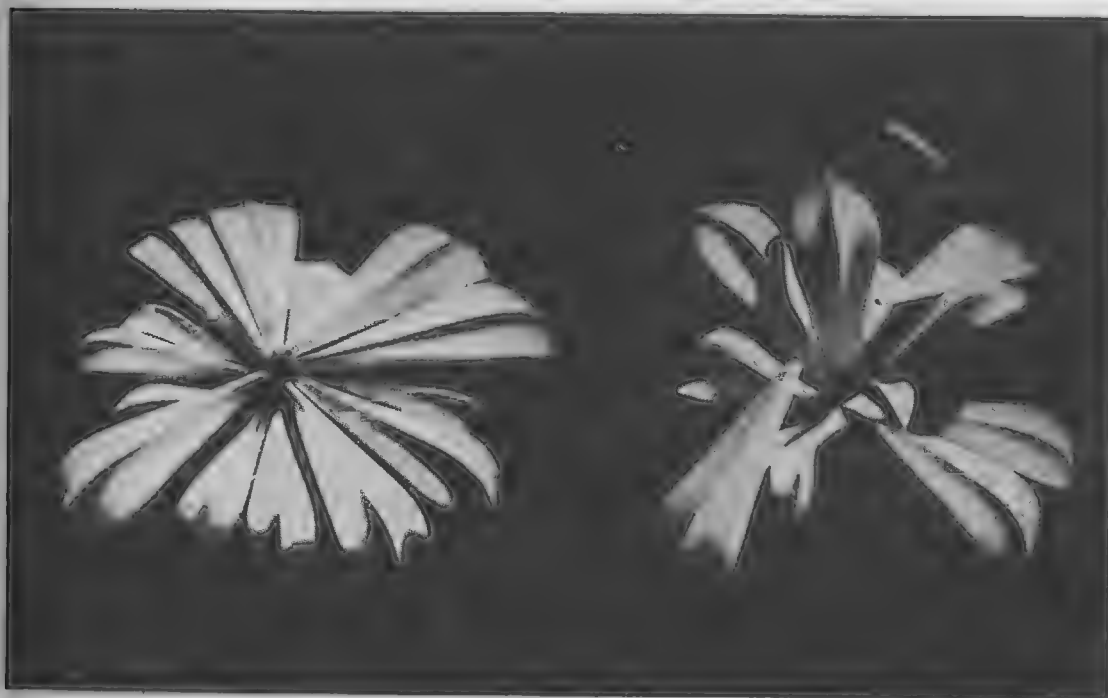
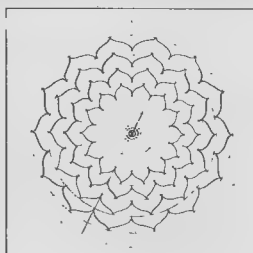


Рис. 49. "Домобиль". Международный конкурс. Голливуд, 1964 г. Трансформируемый дом с задачей регуляции микроклимата помещений путем автоматического движения элементов кровли, 1964 г. Архит. А. Мутнякович. План кровли; разрез и план здания (с зонами распределения требуемых температур); общий вид здания с открытой и закрытой кровлей



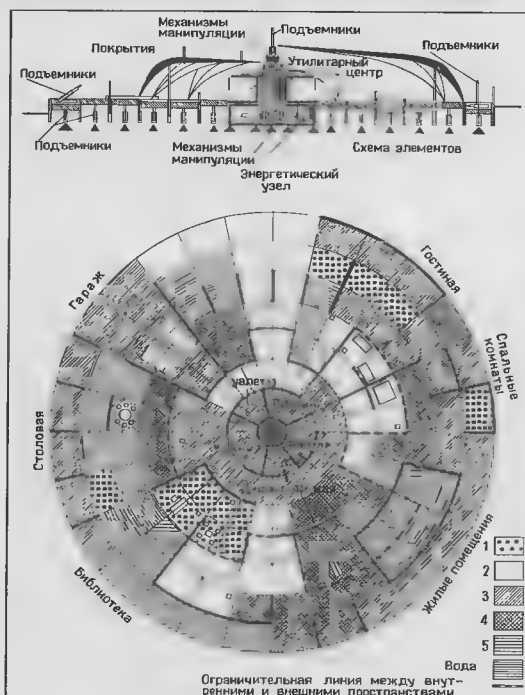
мых как механизм, до нескольких миллионов в год уже возможно сейчас.

Производственная программа, например, 10 тыс. единиц в год для нескольких сотен миллионов жителей не является бессмысленной. Недостаток предлагаемого решения дома-механизма заключен в невозможности достичь требуемой плотности агломераций посредством использования земли в один уровень.

Тем не менее этот абсурд проявляется в рамках статического рассмотрения событий. Факты различны. Эурополис (европейский город) Гудаппела является делом недалекого будущего. Эйкуменополис (мировой город) Доксиадиса — перспектива одного века — означает, что на одном квадратном километре будет жить 100 тыс. человек. Перспектива Фремлина на тысячелетие показывает, что вся поверхность земли, включая океан, будет покрыта 2000 ярусов рабочей и жилой зоны.

Ситуация через тысячелетие нас не интересует, Эйкуменополис же обладает теми элементами, рассмотрение которых необходимо в любой программе, рассчитанной на перспективу. Но решение проблемы человеческой агломерации посредством существующих высотных конструкций представляет ту же нелепость, что и посредством одноэтажных зданий.

Это подтверждают проекты "Пространственного горо-



да" Фридмана, "Плавающего города" Меймона, "Города будущего" Джонса, "Мотопии" Желлико, как замечательные примеры фантастических урбанистических исследований, в которых достигнуты необыкновенные качества посткорбузианских суперструктур, формирующих современную среду. Эти достижения, веро-

ятно, можно будет прининить при создании зурополиса, надежда же на их применение в эйкуменополисе иллюзорна.

Проект Райта "Усония", дополненный проектом "тысячаметрового небоскреба", представляет собой интересное решение. Общее представление основано на доминировании классических средств гравитации и минимальной корректировке классических средств коммуникаций. Но такое обременение архитектуры технически непреодолимыми вопросами делает ее проблематичной.

Основу взаимосвязи между конструкциями и гравитацией в настоящее время составляет материал, в будущем ее составит энергия. Мечта Икара стала реальностью.

Говорить сегодня о квартирах на летающих платформах значит практически предаваться фантазии. Тем не менее теоретически такая проблема уже решена. Поэтому интересно поразмышлять о последствиях воплощения в будущем этого достижения человеческого разума.

Это такая же утопия, каковой можно считать надежду на решение средствами классической архитектуры проблемы устройства 100 тыс. жителей на одном квадратном километре в течение века.

Главный тезис состоит в том, что однажды уничтожили поля, чтобы возвести города. Вскоре мы должны будем уничтожать города, чтобы восстановить поля.

Перед нами две утопии: земной поверхности, покрытой гигантскими конструкциями, и летающих объемов. От второй утопии надо сразу отказаться. Это заключение логично в рамках научных и технических достижений, которые еще не имеют прямых связей с архитектурой и жилищным строительством, хотя мы находимся на пороге их синтеза.

Предлагаемый проект домобилиа был сделан на основании этих размышлений. Сегодня эта проблема стала своего рода катализатором, направляющим наши исследования. Формирование дома-механизма достигло реального успеха в возможном существовании Эйкуменополиса. Нынешняя его полезность в многосерийном производстве соответствует его перспективной полезности.

Практическая выгода от производства домов-механизмов сегодня минимальна, точно так же, как 100 лет назад экспериментальные работы по проектированию автомобиля или самолета несли в себя минимум полезности.

Когда в начале этого века математик Минковский дал пространству, дополненному временем, название "мира" и заявил, что элементом порядка всякой реальной вещи является не место и момент, а случай, вековые геометрические аксиомы, высказанные Евклидом, превратились в дидактические элементы для подхода к постижению мира.

Когда ненадолго позже Гиббс установил случайность как главную основу физики, узкоограниченная вселенная Ньютона осталась только как историческая ценность. Точно так же, по крайней мере в философском смысле, основные точки опоры классической архитектуры потеряли почву под своими ногами.

И когда Виннер недавно, суммируя результаты двух промышленных революций, установил свой кибернетический тезис "гуманное использование человеческих возможностей", пытаясь объяснить, почему ряд областей, которые всегда считались сферой человеческой деятельности, стали потенциальной сферой деятельности механизмов, в этот момент машина достигла значения *присутствия*. Присутствия не как средства, а как жизненной пользы, адекватной, как нам кажется, взаимосвязи греческого гражданина и раба. Точно так же, по крайней мере в теоретическом смысле, основная система строительной концепции классической архи-

тектуры потеряла свое право на существование. *Присутствие* машины в мире *случайности* четырехмерных явлений — вот аксиома новой точки опоры в архитектуре.

Создать современный дом очень просто, но прежде нужно забыть все то, что уже существует и начать старт с двумя истинами: человек и механизм.

Человек — это существо, стремящееся к жизненным радостям. Механизм — это средство, которое служит человеку для достижения этой цели.

От бесконечности вселенной человек прятал свой страх и свою физиологическую беспомощность внутри сводчатой поверхности микрокосмоса в виде пещеры, хижины, тента, дома. Эта историческая тождественность решения проблемы поразительна, даже если существует формальная разница между индивидуальными вариантами или внутри них. В своих мечтах человек мастерил приспособления, летающие без использования человеческих мышц. И пока работа интеллекта приводила к появлению бесконечного ряда механизмов, сделанных для удовлетворения потребностей человека, его дом оставался предоставленным его телу. Творчество выражалось здесь в форме художественного овладения материалом архитектуры и в ней живописи и скульптуры.

Механизм помогает человеку только в создании средств для сооружения и оборудования его дома. Механизм за его независимое существование презирают. Его презирают, хотя в виде автомобиля, корабля, подводной лодки, самолета, ракеты он живет рядом с человеком и стал ему абсолютно необходимым.

Поскольку этот продукт разума заполнил таким образом наше существование, сопротивление дому-механизму кажется бессмысленным.

Современный дом обременен множеством несоответствий, с которыми мы так часто соприкасаемся, что даже и не замечаем их. Статическая инертность материала, скудость холодных пространств, надоедливая монотонность, потенциальная необходимость приспособления жизненной изменчивости к данному пространству, исключительная ограниченность внутреннего и внешнего пространства, пассивность по отношению к климатическим условиям, безразличие к человеческому настроению, — это характерные черты (с отрицательными свойствами) нашего современного дома, ставшего классическим в своем роде.

И эти негативные свойства не результат хорошего или плохого качества конструкции, творческого или нетворческого решения, воображения или слабости автора, способности или неспособности потребителя, а следствие бытующей современной концепции дома. Современный же механизм, который должен входить как помощник в каждую деталь человеческой жизни, был решительно изгнан из жилища. Вместо того чтобы механизму стать домом, он деградировал до вспомогательных механических приспособлений в сооружении самого дома.

В автомобиле-механизме мы едем. На корабле-механизме мы плывем. На подводной лодке-механизме мы погружаемся. На самолете-механизме мы летим. На ракете-механизме мы поднимаемся в космос. В механизированном доме мы живем. И все это делает жизнь бесчеловечной.

Сила человеческого интеллекта, которая гуманизирует все машины, также сделает гуманным и дом-механизм. И эта сила, которая превратила механизм в средство, служащее человеку, здесь также найдет свое полное выражение.

Но не только как физиологический фактор. После того как будет осуществлена задача физиологического удовлетворения человека, дом-механизм превзойдет свою первичную функцию и обеспечит психологическое удовлетворение. Точно так же, как автомобиль, сред-

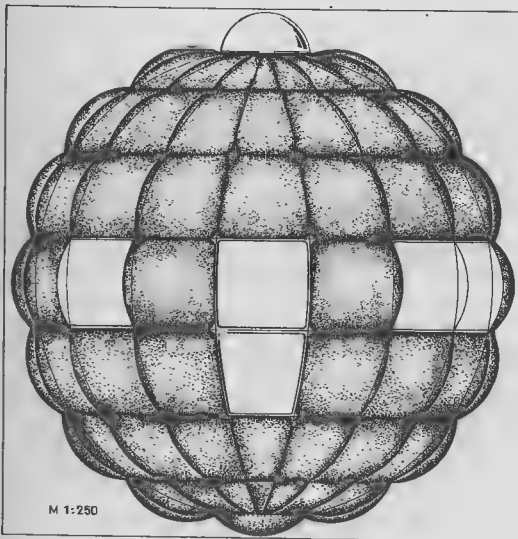


Рис. 50. "Домобиль" и "Ур-мобиль" (урбанизированная мобильность). Международный конкурс на жилую единицу индустриального произ-

водства. Люксембург, 1967. Архит. А. Мутнякович. Общий вид города; жилые единицы в пространстве

во быстрого передвижения, параллельно стал средством наслаждения от быстрой езды, дом-механизм превратился в средство редостного ощущения жизни. Так механизм платит человеческому интеллекту дань благодарности за свое существование.

Дом-механизм идентичен любому другому механизму:

силовой двигатель размещен в изолированной комнате; здесь происходит манипуляция плоскостями, необходимыми для использования;

полезные элементы дома-механизма сформированы согласно рабочей необходимости; здесь это плоскости покрытия, ограждения и ходьбы;

элементы дома-механизма управляются соответствующей системой приспособлений, двигателей, транспортеров, которые монтируют дом.

Образование дома-механизма подчинено функции, а функцией является человек, который желает приспособить пространство к своим психическим и физическим потребностям, который удовлетворяет свою любознательность посредством новых ощущений, который мечтает, который выражает богатство своих чувств созданием неповторимых творений.

Эти человеческие желания являются элементами функции дома-механизма.

Силовой двигатель дома-механизма находится в центре объекта. Санитарно-гигиенические пространства и кухня образуют центральное ядро утилитарной сердцевины. Они соединены кабиной управления, где размещено оборудование дома-механизма. Таким образом, может быть, полностью обеспечивается физиологическая функция жизни.

Все остальное предоставлено психической функции человеческой жизни, тому ряду изменений, которых требует человеческая фантазия, а дом-механизм может способствовать ее осуществлению. Эти возможности обеспечивают следующие архитектурные элементы дома:

плоскости покрытия, сделанные в виде 14 веерообразных "лепестков" по аналогии с лепестками цветка ламеллы (рис. 49, 50).

В длину лепестки ламеллы разделены на четыре отрезка, которые изменяются также и по высоте. Все лепестки кровли можно вращать вокруг центра при помощи соответствующих механизмов и варьировать 14 делениями. Их разница в длине и высоте позволяет изменять их места и расположения. В комплексе кровли посредством соответствующего механизма все лепестки ламеллы можно поднять в любое положение по вертикали, так что все они поднимаются в середине объекта, за исключением трех, закрепленных на границе объекта и поднимающихся от середины;

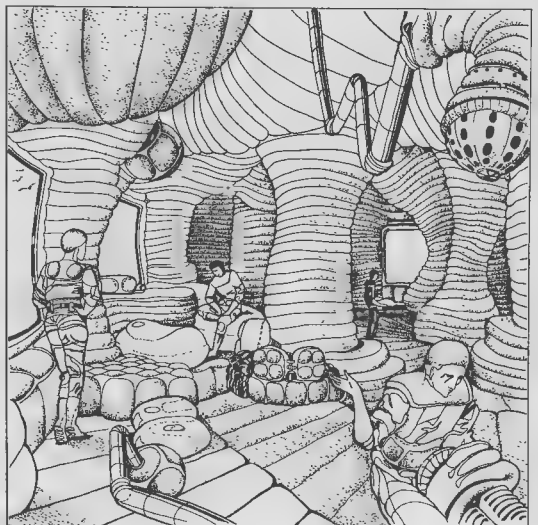
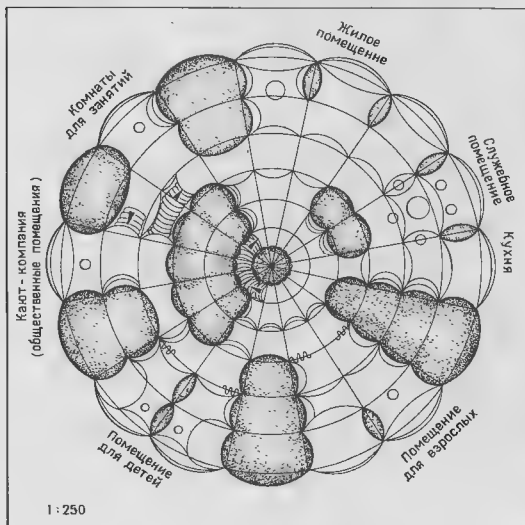
плоскости ограждения, сделанные в виде вертикальных поверхностей, размещенных по очертанию модели — по 7 concentрическим кругам и 14 отсекам. Всем плоскостям посредством соответственного механизма можно придать любое положение — от полной изоляции комнат, достигая покрытия, до полного раскрытия и погружения в толщу покрытия пола. Они служат так же, как перегородки в комнатах, как панели для выставок, как библиотечные транспортеры, как пространственные модуляторы и в случае необходимости как разделители внешних и внутренних пространств;

плоскости пола, сделанные в виде горизонтальных поверхностей как части кругового сегмента. Элементы пола могут подниматься и опускаться;

приспособления для управления, состоящие из источников энергии, размещенных в центре домобилиа под поверхностью кровли и вместе с подъемниками для указанных выше операций. Подъемники стеновых ограждений и пола размещены в цокольной части здания;

утилитарный центр, состоящий из двух ванных комнат, туалетов, кухни и кабины управления. Он размещен в центральном поясе, и его можно полностью поворачивать вокруг центрального цилиндра, так что при любом изменении плана его элементы размещаются в оптимальном отношении к соответствующим пространствам;

материал — в осуществлении такого дома, конечно, нельзя использовать материалы, формирующие классический дом. Они слишком тяжелы, неустойчивы и имеют индивидуальные физические качества. Материал, созданный человеком — пластмассы, — найдет здесь свое полное применение и покажет наилучшие качества.



Комбинированная форма элементов домобилиа характеризует его следующие свойства:

плоскости покрытия можно поместить посредством горизонтальных передвижений в столь взаимно различные положения, что фактическая форма будет представлять ряд бесконечных вариантов; добавив к этому возможность подъема в положение с горизонтального уровня на вертикальный, мы можем значительно расширить число допустимых пространственных решений;

плоскости ограждения в гармонии с плоскостями покрытия порождают дополнительный ряд пространственных решений;

плоскости пола входят в эту комбинационную "игру" благодаря подключению новых программ движения.

Таким путем у дома-механизма нет классических элементов: статичных плана квартиры, фасада, объема. Здесь представлено разнообразие форм плоскостей покрытия, фасадов, планировочных схем. При помощи детерминированного обоснования программы была выработана возможность данного проектного решения.

Архитектор не должен делать выбор варианта плана или пространственного решения. Сама жизнь человека, обладателя дома-механизма, порождает функциональные потребности, создает планы, пространства, композиционные взаимоотношения. Она создает дом, как живой организм, всегда способный гибко формировать архитектурную форму согласно желаниям и прихоти человека.

Коконоплан (некоторые исследования "летающего" дома и города) (рис. 51). Человек — не птица, однако история человечества является историей борьбы против притяжения. Мечта Икара неосуществима органически, но технически возможна. Один кубометр гелия благодаря разнице в весе с воздухом поднимает 9 кг на высоту 1000 м. Баллон диаметром 20 м (4190 м^3), уменьшенный до удобного объема (630 м^3), наполненный гелием, поднимает 3200 кг груза: материал баллона — 500 кг, оборудование — 500 кг, силовая установка — 1200 кг, запас прочности — 500 кг, шесть человек — 500 кг.

Коконоплан — это реальность будущего. Архитектура является победой разума над силой притяжения: экс-

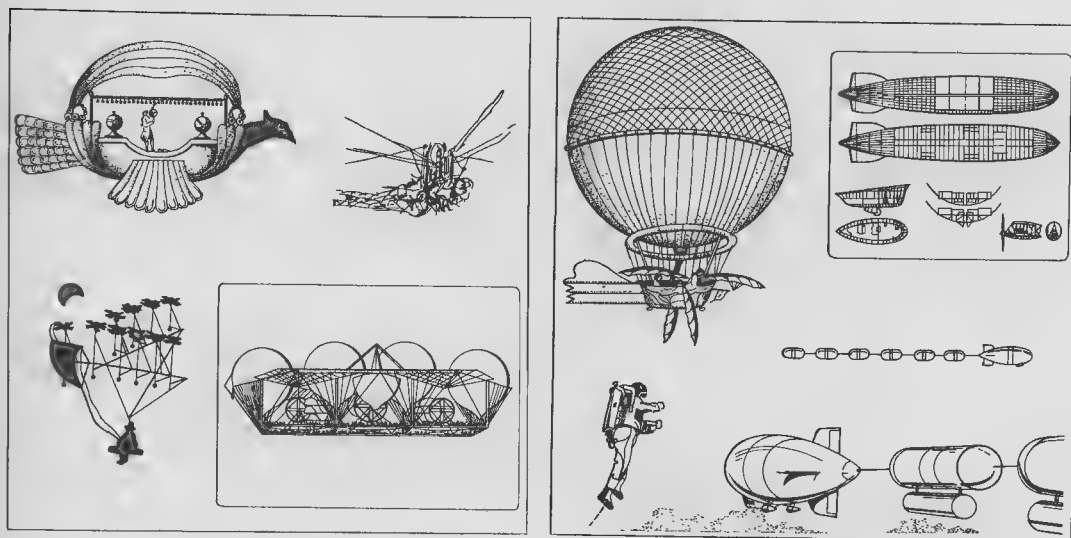
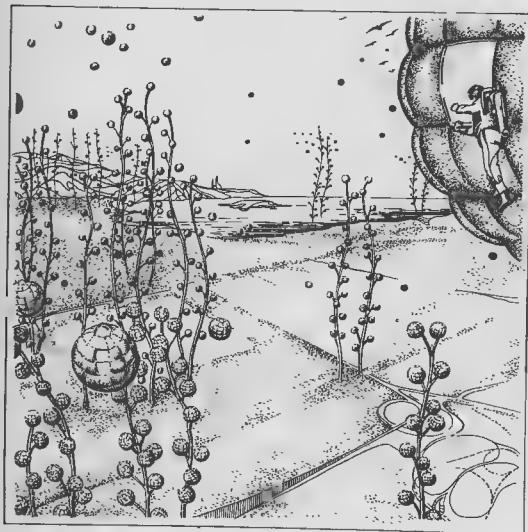


Рис. 51. Коконоплан (летающий дом и летающий город). Конкурс на Международной выставке "Земля-2". Вроцлав, 1981 г. Архит. А. Мутнякович. Природа, летающие семена; мечты о полетах в воздухе (история); план жилого этажа летающего дома; общий вид летающего дома; интерьер; город, скомпонованный из летающих домов (коконоплан)



прессивная победа в классических элегантных улицах, величественная победа в готическом соборе, рациональная победа в современных небоскребах.

Боевым средством архитектуры всегда был материал. История архитектуры является историей пластической обработки материала: камня, леса, кирпича, железобетона, стали, пластмасс. Но материал беспомощно подчинялся притяжению гравитационной силы.

И тем не менее материал также летает: птица, баллон, самолет. Если мы дадим материалу энергию, ему удастся преодолеть силу притяжения и стать независимым в пространстве. Эту простую истину, качество, достигнутое слиянием материала и энергии, в архитектуре игнорировали. В прошлом, как и сейчас, архитектура покоится на законах статики.

Но человек всегда стремился освободиться от силы притяжения. Мифы человечества полны сказок о полетах, фантазия создала для этого чудесные приспособления, загадки летающих непознанных объектов существуют и ныне, и тем не менее техника материали-

зовала эту многовековую мечту — была создана летающая машина. В таком случае можно создать и летающий дом.

Пневматическая архитектура ввела новую силу для преодоления притяжения — сжатый воздух. Но процесс можно представить иначе, заменив воздух более легким газом — гелием. Тогда пневматическая архитектура будет наделена подъемной энергией и сможет парить и скользить. Используя механизм, она сможет также летать. Ткани для баллонов реальны и существуют в сфере сегодняшней технологии.

В настоящее время гелий редкий и дорогостоящий газ, но в рамках новых технологических систем он появится как побочный продукт. Сегодня энергия дорогая и громоздкая для хранения, но солнечные батареи, размещенные вдоль поверхности баллона, в недалеком будущем станут конкурирующим источником энергии. Уже сегодня запуск ракет дает на экспериментальной стадии новые возможности движения в воздухе. Если принять во внимание технологию и функцию, то можно сделать вывод, что коконоплан возможен.

Коконоплан — это не только осуществленная многовековая мечта человечества, но и возможная альтернатива на прогнозируемый кризис урбанизации. Уже сегодня мегалополисы поглощают всю территорию вокруг себя, и отсутствие необходимых земельных участков стало фактором, ограничивающим их развитие. Остаются неосвоенными для строительства горы, вода и огромный воздушный бассейн. Человечество должно принять во внимание эти пространства, как необходимое условие своего существования. Коконоплан — это не фантазия, а необходимость. Его организации даже сейчас легко дать рационалистическое объяснение. Точно так же, как человек организовал свой контакт с поверхностью

воды, возможно наладить контакт с воздушным объемом. Он пустил в воду щупальцы пристаней, чтобы прикрепить лодки и корабли, точно так же необходимо пустить щупальцы в атмосферу, чтобы привязать к ним летающие города: наполненный гелием дом поднимается ввысь с системой инфраструктурного оборудования, линий привязки и коммуникаций. Примеры в мире растений (структура цветка мимозы и т.п.) указывают логику такой организации в пространстве.

Летающий дом и летающий город можно вообразить и сделать. Но мы не должны забывать, что человек ограничен действием силы притяжения, а также твердой субстанцией своего жилища. Природа создала гораздо более прогрессивные формы жилья и среди них шелковый корабль кокона — прочную, мягкую, гибкую оболочку жизни. Баллон летающего дома должен быть таким же коконом с добавленной к нему энергией для подъема и движения. Суммируя эти черты, логично назвать летающие дома и город коконопланом.

Коконоплан — это победа человека над силой притяжения, достижение им природной формы жилища, возможная альтернатива на кризис урбанизации.

“АРКОЛОГИЯ” — ВООБРАЖАЕМЫЙ ГОРОД*

Архитектура — одно из проявлений материального осознания, превращение человеком физической материи в искусственный объект.

С появлением на нашей планете человеческого разума эволюционное развитие органического мира как бы испытывает все большую необходимость вернуться к тому, откуда оно началось, — к физической реальности, а различные проявления внебиологической деятельности позволяют производить средства для “прогресса”. Техническая революция, свидетелями которой мы являемся, есть самое последнее проявление такой деятельности. “Другой разум”, которого мы добиваемся с помощью компьютера, является перспективой развития передовой технологии.

С точки зрения эволюции, архитектура должна быть увязана с экологическими процессами, происходящими в окружающей среде. А для этого архитектура должна стать ее частью. Здесь закономерен пример термитов с их генетической кодификацией конструкций.

Термиты выделяют из своего организма “строительные блоки” для сооружения своего жилища. Из этих блоков они строят неоприроду, термитный небоскреб. Эта внебиологическая деятельность включает в себя “планирование и строительную технику”, реакцию на нужды термитов и образ их существования. Архитектура без архитектора! Мы, люди, увлеченные своей профессией, должны задуматься о своих проблемах. Насекомое автоматически следует строительному коду, который “изобрели” его далекие предки “раз и навсегда”. В действительности насекомое не знает кода и не следует ему. Оно само олицетворяет строительный код.

Иначе у человека. Он творит, отбирая идеи, которые считает подходящими, объединяет их, готовя их к реальному воплощению, тем самым одновременно расшифровывает шаг за шагом и коды строительства, оставленные его предшественниками.

Я думаю, что архитектурная бионика не должна поддаваться желанию расшифровать “раз и навсегда” код архитектуры и строительства, используя природное чутье и парадоксы.

Если архитектурная бионика должна сделать инстинктивным создание замысла и процесс планирования, тогда мы должны были бы причислить строительство

жилища к автоматической, неотермитной процедуре.

Вероятно, мои опасения напрасны. С другой стороны, они могут ориентировать на фундаментальный вопрос о природе человеческой эволюции и природе архитектуры. Мое суждение с этой точки зрения сводится к следующему: после “родовых мук” первые результаты неотермитного проектирования будут грубыми, потому что потребуется время (надеюсь, не столь долгое, как эволюция) на сооружение новых конструкций. Они будут превосходить по мастерству исполнения, временные, экстравагантные, неприжившиеся экспериментальные конструкции и сооружения.

На ранней стадии архитектурной бионики степень произвольности, размаха не будет ограждена традицией. Она останется процессом поисков нового “продукта”, новой архитектуры. Подобное положение подтверждается появлением новой музыки, создаваемой электронными звуками. Мы изобрели новую технологию создания звука, но нам не хватает творческого подхода в разработке строительной технологии. Тогда бы мы увидели города, растущие подобно организмам в своей физической среде (рис. 52). Это предполагает наличие переходного порога, зависящего от размера (масштаба, числа), назначения архитектурных объектов, а также возможных форм бионического планирования и проектирования. Фактор органичности, который может включать бионическая архитектура при таком подходе, можно проиллюстрировать на примере биологической аналогии. При проектировании, например, жилища следует предостеречь от выборочного метода. Биология указывает нам, что планировать, например, создание руки (пальца или глаза) бессмысленно. Планирование должно включать весь организм, а для этого необходимо изучить его онтологию. Органиобионическая рука предполагает организм. По аналогии и дом предполагает обиталище — жилую среду (поскольку человек — это социально-культурное животное): деревню, город, столицу. Сотни органических, бионических домов (рук) находятся в состоянии противоречия.

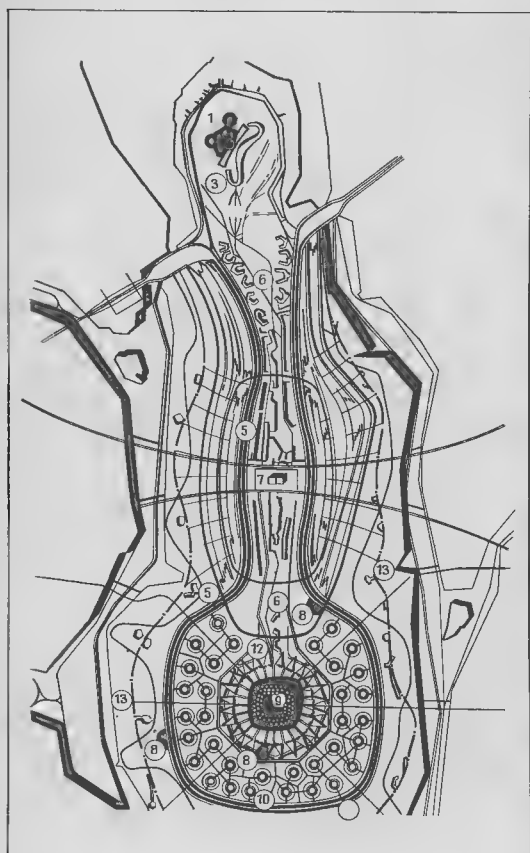
Полноценное функционирование или вообще жизнь целого организма зачеркивается, например, при угасании жизни в каком-либо органе или отделении его от организма. Мы знаем, что организм, в конечном счете, — это очень искусно реорганизованная физическая материя. В нашем случае можно сказать, что это “дома”, искусно реорганизованные, объединенные между собой и с другими строениями, образующие жилую среду.

Одна воспитательная черта термитных гнезд — это большой порядок, который они обеспечивают при минимальной доле беспорядка. Термиты — отличные трудолюбивые работники, минимально загрязняющие свое окружение. В этом отношении у человека значительно менее эффективные результаты. Например, при строительстве жилища мы всегда создаем вокруг большой беспорядок. Каждое строительство у нас окружено мусорными свалками, заброшенными пустырями и т.п. Кроме того, производство оборудования и материалов, необходимых для строительства, также вносит огромный беспорядок: это карьеры, шахты, котлованы, ямы, сбросы отходов и породы.

В этих условиях становится обязательной умеренность, бережливость: необходимо обеспечить максимум порядка, на который мы способны, при минимальном уровне беспорядка, который неизбежен. Превращение физической реальности в реальность архитектуры — это ключ к бережливости, и в архитектурном творчестве соотношение порядка и беспорядка экспоненциально возрастает в пользу порядка.

Было бы печально, если бы при развитии технологии во все более неббиологическом направлении архитектор в своем стремлении к органичности оставался бы

* © Soleri Paolo (USA).



созерцателем и был бы буквально втянут в биологификацию конструкций. Представляется в этом смысле удачной наша попытка интерпретировать природные конструкции в проектах мостов (рис. 53).

Мои соображения основаны на метаморфозе творческого процесса, развивающегося во времени, а так как это развитие строго регулируется определенными преобразовательными "методами", то мне кажется сейчас уместно определить, что такое технология и каково ее влияние на архитектурное творчество, а также каково соотношение строительной технологии человека и технологии живых организмов.

Это не праздный вопрос, поскольку существуют различные точки зрения на технологию. Мы ее рассмотрим в основном с точки зрения биотехнологии.

1. Биологический организм живет и действует благодаря биотехнологии, которая не только безмерно изобретательнее, но и предваряет более молодую технологию труда человека. Отличной иллюстрацией может послужить "мини-двигатель", при помощи которого вращаются реснички некоторых микроорганизмов.

2. Наука установила, что миллионы лет назад до появления человека-животного биологические методы, направленные на освоение среды (технология), были выработаны насекомыми и другими организмами, например, использование веточек, палочек и т.п. птицами и млекопитающими.

И действительно, было бы лучше с точки зрения эпистемологии, если бы мы приняли биотехнологию, присущую всем организмам. Однако установим более связную, гармоничную хронологию развития техноло-

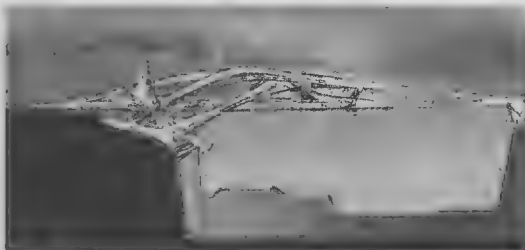
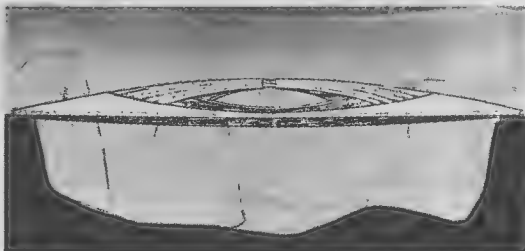
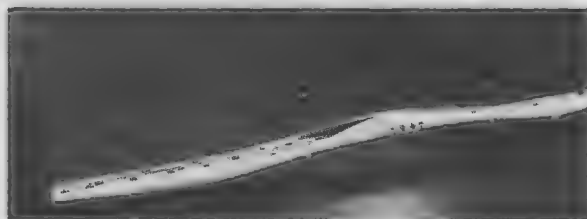


Рис. 52. Проект Мезасити, 1959 г.

Рис. 53. Модели мостов, 1960-е гг.

гии, понимая ее как процесс становления, созидания: технология космоса, которую классическая физика пыталась расшифровать;

микротехнология субволновых частиц, в которой современная физика пока еще не чувствует себя уверенной;

микротехнология "осязаемой" (материальной) реальности, которой управляют законы термодинамики; технология живой материи, биотехнология плоти, желательный максимум для нашего времени в отражательной технологии, т.е. технологии мышления;

технология, изобретаемая человеческим разумом для того, чтобы поддерживать наше существование.

Если о прототехнологии можно сказать, что космическая материя циркулирует по квазивероятностным путям, то можно ли говорить о посттехнологии? Возможно, что да, если предвидеть конвергенцию (соединение) биотехнологии, технологии работы мозга как его продукта и супертехнологии — механики, химии и микроэлектроники.

Вебстер определяет технологию так: "наука о применении знаний в практических целях". Дельфийский оракул не мог быть более точным.

Действительно ли цель жизни — создавать технологию, чтобы продлить саму жизнь? В биологическом смысле жизнь — это именно то, что эволюция совершает на протяжении времени, имеющем космические размеры, т.е. 3000 млн. лет.

Наше время — это время создания средств передачи энергии управления, о чем раньше не могли и мечтать.

Мы способны разрушить жизнь в рамках технологии, которая могла бы оказаться слишком грубой для хрупкого тела духовной жизни.

Как же мы справляемся с "демоном" технологии? Я имею в виду то, что в узком смысле мы называем технологией. Почему так часто человеческая технология наносит раны биотехнологии — живой материи? Вполне вероятно, потому, что технология неразумна. Я имею в виду буквальный смысл. Приборы, оборудование, изобретенные нами, лишены разума. Они не способны синтезировать или делают это очень грубо. Они — суть физическая материя, лишь немного преобразованная и реорганизованная для выполнения указанных человеком операций. Чтобы подтвердить грубость современной технологии, достаточно побывать на свалке.

Но это не грех технологии: в большей мере — это ее инфантильность. Однако факты могут показать, что через мучительную совместную работу "разума" человека и "разума" природы (архитектурная бионика) станет возможным достижение нового уровня понимания законов развития строительной технологии.

Комплекс биофизической материи, жизни и разума становится все сложнее. Относительная сложность механической, электрической, химической материи еще более усугубляется и становится глухой к требованию окружающей среды.

Вероятно здесь и кроется самая большая опасность технологии. Технология берет верх там, где биотехнология "уходит", а там где технология часто бывает эффективна, она становится грубой и может стать опасной, если ее выпустить из-под контроля. Оставьте печь гореть без присмотра, и может сгореть весь дом; оставьте центрифугу вращаться, и сливки собьются в масло; предоставьте паровозу двигаться самому, и поезд разрушит станцию и т.д. Однако отсутствие контроля — это еще не самое главное (фактически, революция роботов основана на самоконтроле и саморегуляции). Важнее то, что технизированной среда стремится стать носителем информации, и мы готовы поддаться и быть захваченными ею. Взгляните на автомобильный ажиотаж. Комплекс живого может в конечном счете стать

жертвой неживого, вместо того чтобы помочь ему утвердиться. Это — угроза регресса, катастрофы жизни¹.

Аркология двух солнц. Мой интерес к альтернативным энергетическим системам и проблемам, связанным с городской окружающей средой, относится к началу 50-х годов, когда я впервые исследовал взаимосвязь солнечной энергии и жилища. Сейчас, 30 с лишним лет спустя, созрели условия для внедрения этих идей. Они получили свое дальнейшее развитие вокруг основной идеи аркологии. Эта теория содержит потенциальные решения проблем роста населения, энергетического кризиса, загрязнения среды, истощения природных ресурсов, нехватки пищи и ухудшения жизни в наших больших городах. Недавно "Фонды Козанти"² работали над применением этих идей в специфических условиях организации городских энергетических систем. Эта работа была сфокусирована на исследовании трехмерных городов, обеспечиваемых энергией солнца (рис. 54–65). Дальнейшее развитие идеи аркологии нашло свое отражение в названии "аркология двух солнц".

Тезис простой: существуют некоторые физические и биологические явления, которые можно объединить вместе для достижения синтеза, служащего человеческим потребностям. Эти явления я называю "эффектами". В данном случае для рассмотрения я предлагаю четыре неорганических и два органических эффекта. Неорганические эффекты являются следствием физических законов:

тепличный эффект способствует собиранию солнечного тепла внутри определенного пространства. Он обеспечивает естественную сельскохозяйственную базу и сохранение водных ресурсов, способствует интенсификации производства пищи и поддерживает энергетическую систему для аркологии;

эффект дымохода представляет собой процесс, при котором теплый воздух поднимается вертикально. Его используют для проведения нагретого воздуха в целях отопления и других нужд с минимальными энергетическими затратами;

эффект апсиды — это метод превращения архитектуры в пассивную "энергетическую машину", которая действует в соответствии с изменением положения солнца в течение дня. Эта форма летом дает тень, а зимой она аккумулирует лучи солнца;

эффект тепловой инерции связан со способностью камня или бетона накапливать тепло, когда температура окружающей среды выше их собственной, и медленно отдавать тепло, когда температура окружающей среды ниже их собственной.

Два органических эффекта характеризуются следующим:

эффект садоводства является сознательным вмешательством в органический процесс. Он ведет свое происхождение с тех давних времен, когда люди начали контролировать и управлять им;

корни **городского эффекта** ведут к истокам происхождения жизни, когда человек начал существовать в своем человеческом облике, тяготея к общественной жизни.

Аркологии двух солнц спроектированы с учетом перечисленных "эффектов". Название фокусирует внимание на двух элементах. Один — это физическое при-

¹ Без посредничества разума, т.е. человека, технические средства бессмысленны. Некоторые фильмы успешно передают эту страшную мысль, показывая заброшенные города и промышленные центры.

² Это жилой комплекс и организация, созданная П. Солери на общественных началах в Скотсдейле (Аризона), где он живет и работает над проблемами городов будущего. (Примеч. Ю.Л.)

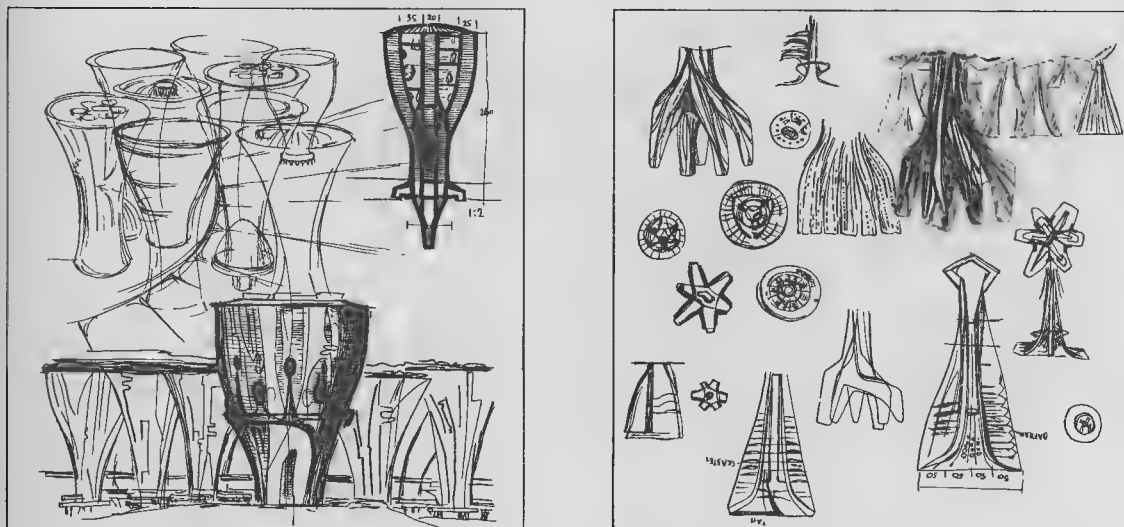


Рис. 54. Наброски



Рис. 55. Сравнительная диаграмма плотности

существование солнца, источника энергии на планете, другой — производное от первого, жизнь, выраженная в изумительном чуде — органической эволюции, достигшей в наше время своей вершины в разуме и духе человека. Термин "аркология" используется для акцентирования экологической природы предлагаемой концепции развития городской системы.

Поскольку технология для осуществления этой программы относительно реальная и несложная, ее можно применять в широком, глобальном смысле. Трехмерные структуры, предложенные в этой концепции, предусматривают городскую систему, которая активи-

зирует взаимодействие между городскими жителями, а также между людьми и средой.

Вместимость города позволяет выдерживать натиск все увеличивающегося числа населения, которое должно жить в этом городе. Проблема истощения земельных ресурсов здесь также находит решение. Важными элементами в структуре города могут стать зоны, в которых жизненной необходимостью является сохранение и повторное использование воды. Этому сохранению содействуют сельскохозяйственные теплицы (или одна большая теплица), которые уменьшают потери, вызванные испарением, и способны вторично использовать

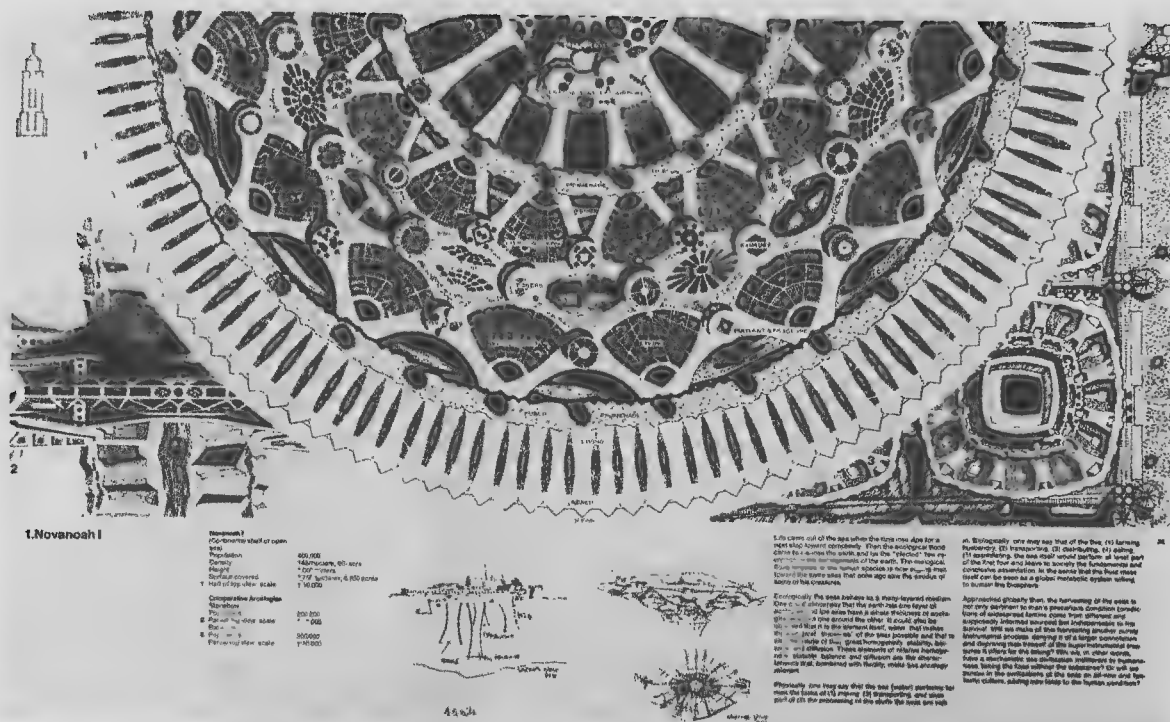


Рис. 57. Проект аркологии Нованоа I

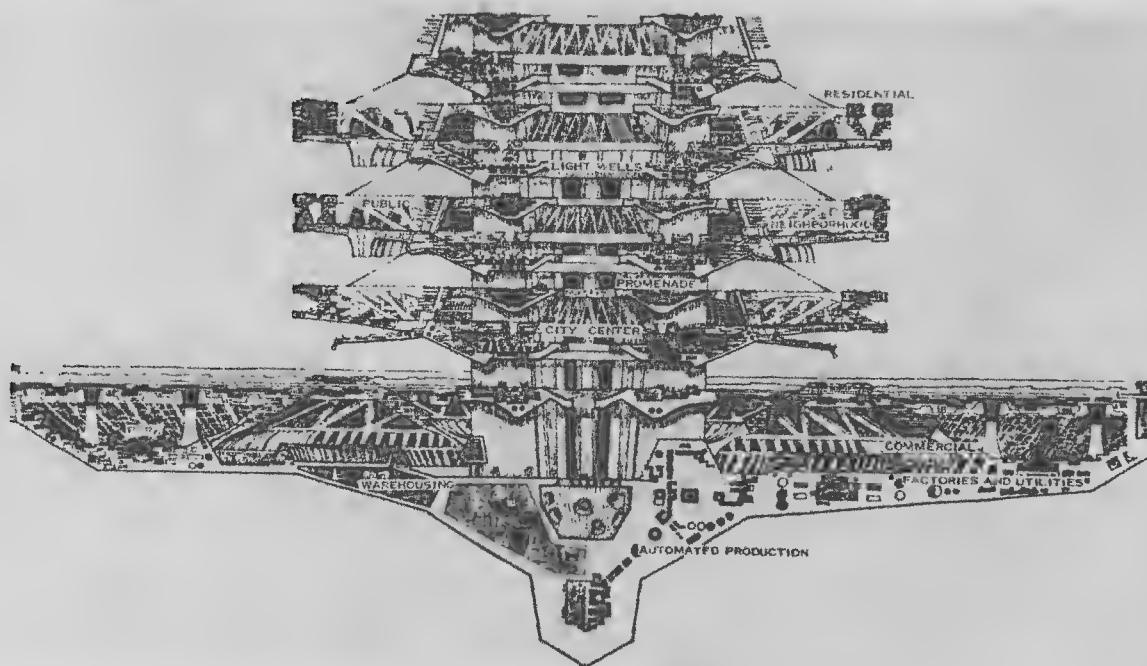


Рис. 56. Проект аркологии Вавель 115

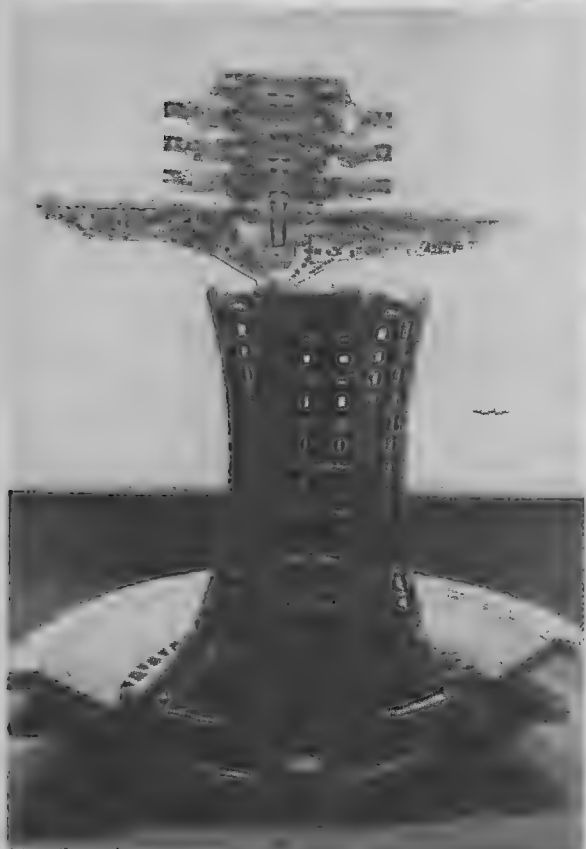


Рис. 58. Модель фрагмента
еркологии Нованов І

Рис. 59. Модель аркологии
Гексээдрон

Рис. 60. Модель аркологии
Вавель ІІД

Рис. 61. Модель аркологии

Рис. 62. Модель аркологии
Вавель Каньон



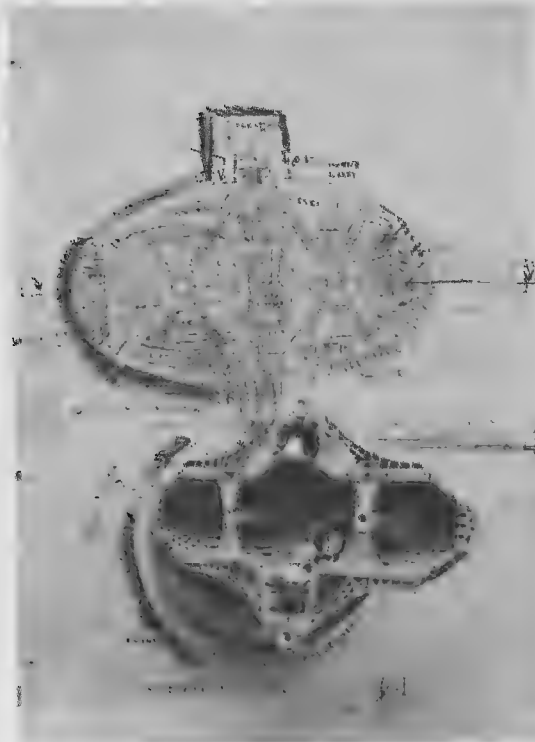
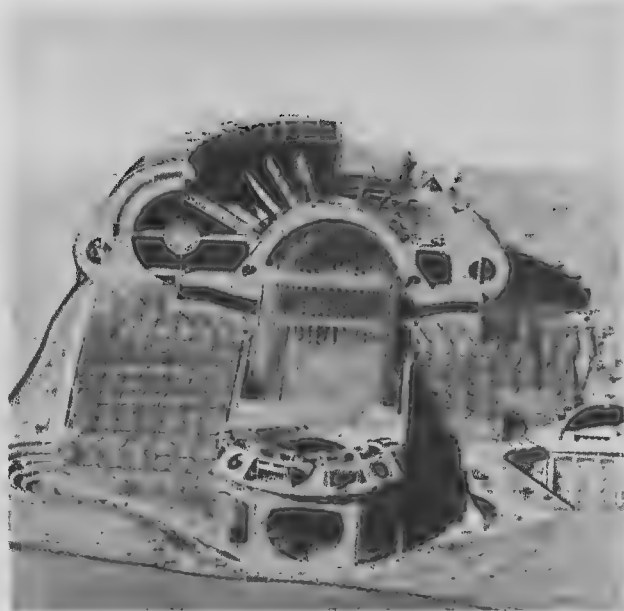
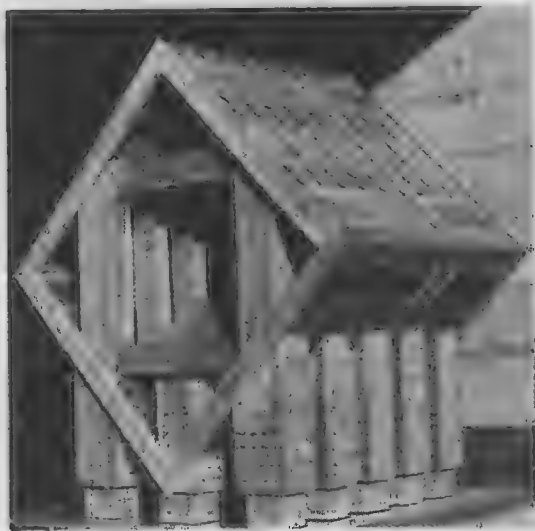


Рис. 63. Модель аркологии Аркуб

Рис. 64. Модель аркологии

Рис. 65. Модель аркологии Астеромо

воду города. Теплицы помогают развитию садоводства, позволяя производить пищу на месте в любых сложных ситуациях среды, что создает условия для экономии средств, необходимых для транспортировки, упаковки и сохранения продуктов. Высокий процент солнечных дней в таком климате также увеличивает количество урожая, выращенного с применением гелиоприемников.

Солнечная энергия направляется для нагревания воды, пространства и использования в фотогальванических элементах, накапливающих и снабжающих город электроэнергией. Климат пустыни с низкой влажностью дает возможность использовать процесс охлаждения при испарении как эффективное средство для регулирования микроклимата. Загрязнение сокращено до минимума вследствие ограничения транспортных систем, наполняющих город выхлопными газами. Компактность структуры заставит людей больше ходить и пользоваться лифтами и микротранспортом.

Посредством этих и других стратегических действий город будет функционировать среди природного окружения как здоровый и экономичный, не загрязняющий природу организм, внося в градостроительство положительную связь с биосферой.

Уменьшение или устранение физических стрессов, присущих традиционной городской среде, поможет повысить качество жизни в городе двух солнц. Таким образом, вместе с интенсификацией развития города идея аркологии двух солнц станет средством решения множества взаимосвязанных проблем, которые стоят перед современным обществом: компенсация недостаточности природных ресурсов, энергии, пищи, пространства и интенсификации духовной жизни.

Аркозанти — реализация идеи города двух солнц (рис. 66–72). Расположенный в высокогорье Центральной Аризоны, в 70 милях севернее г. Финикса, Аркозанти является реальным экспериментом в проектировании и сооружении альтернативы современного типового города, он внедряет в жизнь идеи аркологии, в которой происходит слияние архитектуры и экологии.

Сегодня нет сомнений в необходимости обуздания нашего энергетического аппетита при строительстве новых городов, обеспечивающих жильем всеувеличивающееся население. Аркозанти открывает альтернативу нынешней городской дилемме и в то же время ищет



Рис. 66. Козанти, 1960-е гг. Общий вид и фрагмент

Рис. 67. Козанти. Мастерские



Рис. 68. Козанти. Керамическая мастерская. Интерьер

возможности восстановления контакта среди людей, развития культурологических функций и сохранения окружающей среды.

Аркологи́я является методологией, которая признает необходимость радикальной реорганизации расположенного в горизонтальной плоскости города и превращение его в плотную трехмерную структуру.

Городскую систему необходимо делать более компактной, чтобы поддержать высокую духовную культуру и экономическую деятельность.

В окончательном виде Аркозанти мыслится 25-этажной структурой для 4–5 тыс. жителей. Он будет занимать 14 акров из приобретенных 860 акров, давая жителям возможность активной деятельности в самой городской среде и свободный доступ к ненарушенному ландшафту. Проект Аркозанти задуман так, чтобы город способствовал также развитию общественных отношений. С южной стороны города на 5 акрах будет расположена оранжерея, которая обеспечит жителям пищу круглый год и теплоснабжение города.

Прошло 10 лет строительства Аркозанти — первой стадии его запланированного развития. С тех пор, когда началось строительство, 2500 студентов, архитекторов и строителей участвовали в программе возведения города.

Второй этап (1980–1990 гг.) будет посвящен установлению "критических масс":

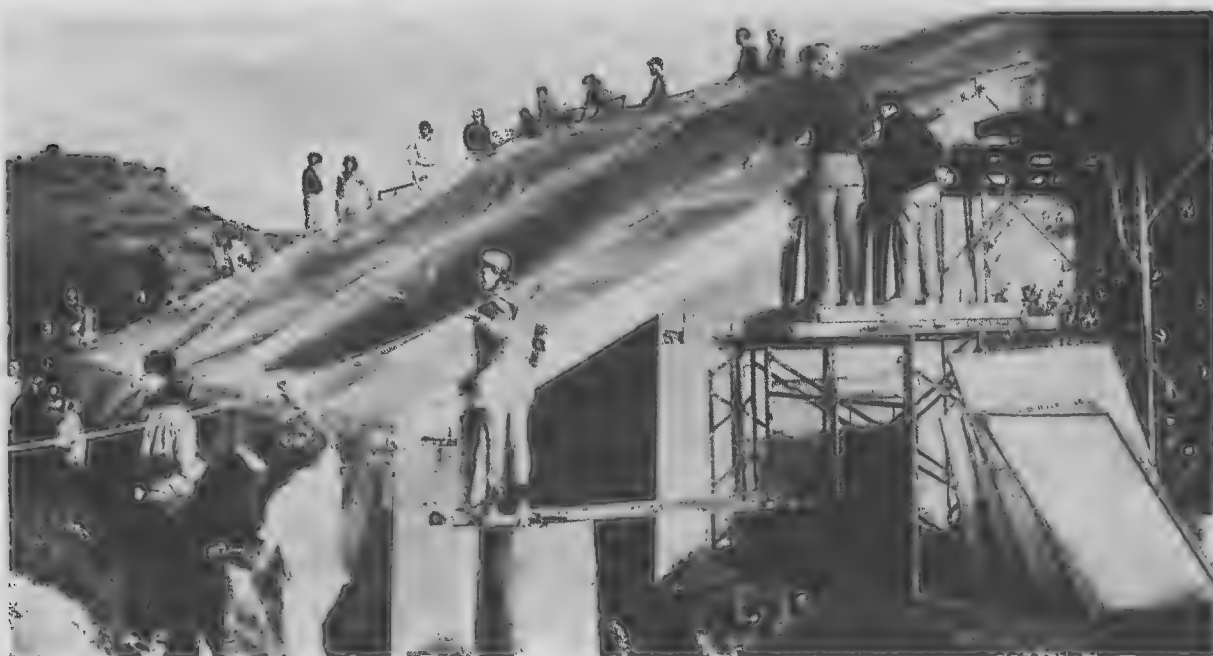
их осуществление более вероятно в наше время благодаря меньшим размерам по отношению к городу; они создадут условия для интенсивной деятельности и вознаградят за труд;



Рис. 69. Аркозанти, 1970-е гг.
Общий вид и фрагмент

Рис. 71. Аркозанти. Фестиваль искусств

Рис. 70. Аркозанти. Строительный процесс



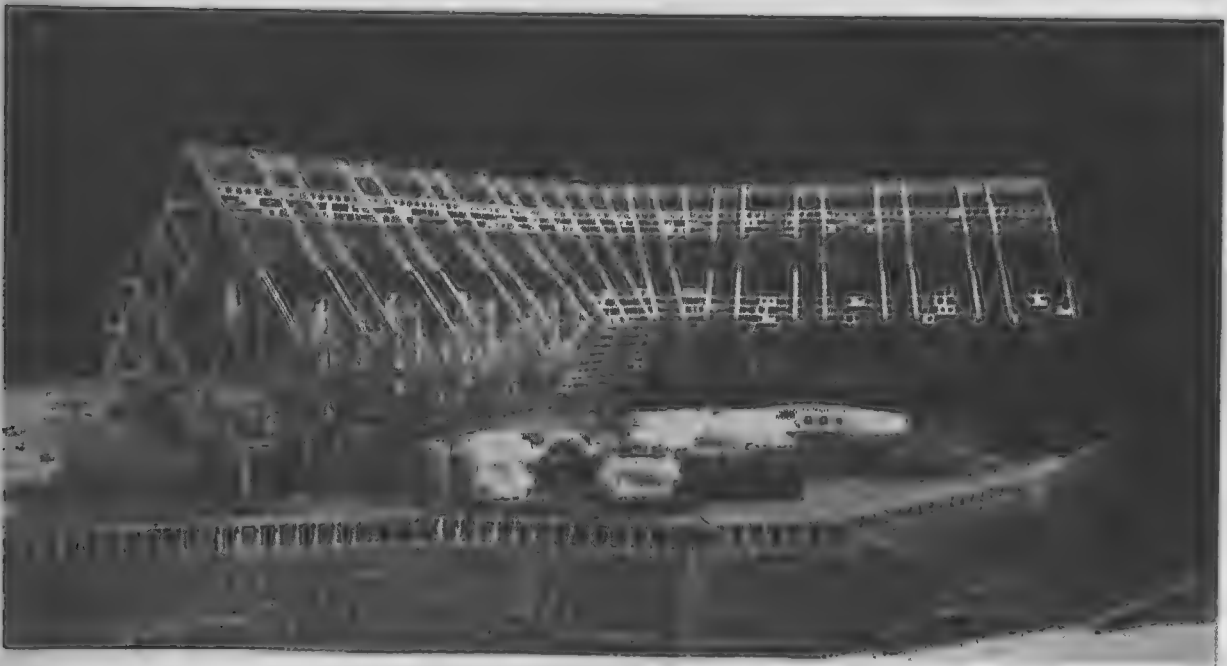
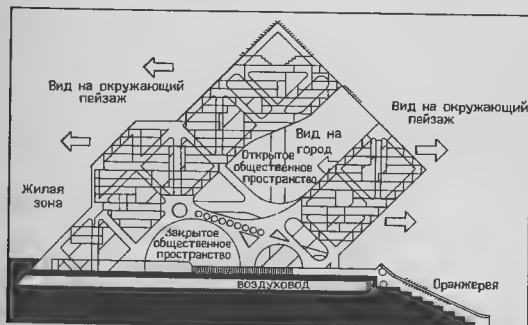


Рис. 72. Аркозанти — аркология двух солнц. Общий вид и разрез



в них откроется огромный спектр интересов — от сельского хозяйства до исследовательской работы, от индустрии до визуальных и прикладных искусств.

Аркозанти — это поиск и исследование в области окружающей среды и формирования жилища. В строительстве Аркозанти мы одновременно исследуем множество проблем, возникших в современном градостроительстве. Но в Аркозанти к тому же исследуется и то, что ощущается только интуитивно.

Города, в которых живет 2/3 человечества, представляют как бы умственно-экологический компендиум множества процессов. Проект же является упрощенной, неопределенной, экспериментальной оценкой городского явления. В общепонятном смысле его можно определить как лабораторию поисков и исследований в области градостроительства.

Упрощенность, неопределенность, экспериментальность как раз и являются основной идеей, составными частями исследования.

Нет поиска, если в нем нет необходимости.

Но случается и так, что ограничение (упрощение), неопределенность и экспериментальность выступают как основополагающие черты реальности. Они непосред-

ственно узаконивают проект, если проект обладает некоторым ясным понятием направленности исследования: энергия, ресурсы, пища, загрязнение, социально-культурная интенсивность, автономия, идентификация, педагогика и т.д. Надо также уяснить, что экономические расчеты, как постлабораторная составная часть, вторичны по отношению к живому мышлению, которое должно быть действительным поиском и исследованием. Волей-неволей мы имеем дело с разумом человека, с которым связана также волнующая тайна реальности и жизни внутри нее. Мы не можем мыслить по-другому (сравните наши личные переживания с трагедиями мира).

Достаточно понятно, что индивидуально мы можем работать с чистыми, ясными предложениями, почти как некими искуплениями наших личных сомнений, капризов и иррациональности. Но это требует убежденности, патриотизма и т.д. Фактически, чтобы очистить реальность от неопределенности эксперимента, необходимо очистить от него самих себя.

Аркозанти выходит за рамки несомненности. Здесь мы имеем дело с неопределенностью реальности. Поэтому нет противоречия в нашем подходе к этому городу с некоторыми "ясными", упрощенными понятиями, касающимися его структурных, логических, энергетических, управленческих, средовых, социальных, культурологических граней. Это как раз означает выяснение свойств среды, сложности жизни и подтверждение их неизбежной трансформационной силы, выяснение сущностных основ и "красоты", противоречивости живого явления и подтверждение его неизбежной преобразующей силы.

Исследование, как и поиск, направляется жадной познающей. В своей основе — это не количественная задача, так как здесь происходит выявление рациональной сущности вещей. Аркозанти — это поиск того, чего еще нет, что мы предчувствуем только интуитивно, — это изменяющийся во времени творческий процесс, смешение знаний, ощущений, предчувствия, поиск непредсказуемого.



Глава 7

ТЕКТОНИКА АРХИТЕКТУРНЫХ И ПРИРОДНЫХ ФОРМ



ТЕКТНИКА КАК СРЕДСТВО ГАРМОНИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ

Реализованная архитектурная форма состоит из трех элементов: функционирующего пространства, конструкций и строительных материалов.

Функционирование — это цель (в архитектуре мы понимаем его шире, чем утилитарную цель). Все материальные средства живой природы направлены на достижение одной цели — функционирования. В результате возникают специфические свойства формы. Однако они не являются простым механическим результатом функционирования. Существуют определенные и относительно независимые законы формообразования, связанные не только с внутренними, но и с внешними, энергетическими законами: биосферы и космоса, корректирующими функционирование, предусмотренное генетическим кодом организма.

Определенная функция может осуществляться только в определенной форме, отсюда, из этих ограничений, возникают законы формообразования. Каждой форме свойственны определенные действия (шар имеет способность катиться, плоским формам свойственно скольжение, форма птицы создана для полета, змеи — для ползания). Форма, по принципу Роу (биолог конца XIX в.), хороша, если она действует. Ту же самую мысль ранее выразил Гёте, говоря, что если форма соответствует образу действия живых организмов, то она со всей силой действует на этот образ жизни.

Следовательно, формы в живой природе возникают не случайно, они закономерны и поддаются анализу и изучению. Однако эти законы различны по своему характеру, их обнаружению и восприятию (и здесь можно провести параллель с классификацией форм проф. И.В. Ламцова) [1].

Одни свойства более явные, видимые, и мы их можем определить количественно. Сюда относятся, например, геометрический вид форм, положение форм в пространстве, их размерность и т.д. Другие мы скорее постигаем чувством, поэтому можем дать им лишь качественные характеристики: статичность, динамичность, легкость, тектоничность. Третьи свойства еще более далеки от определенности и представляются в еле уловимых образах: строгость, лиричность, национальный настрой и т.д. К четвертым И.В. Ламцов относит свойства самого общего характера — единство, целостность, соразмерность, гармоничность и т.д.

В данной главе мы обратим внимание лишь на те свойства форм, которые связаны с механическим действием сил, с тектоникой форм. Тектоника связана с действием на форму механических сил эстетическим освоением этого процесса. Тектоника — это свойство всех природных и архитектурных форм, так как все они испытывают на себе действие гравитации “полезных”, а также аэродинамических (а в некоторых случаях и гидродинамических) нагрузок. Поэтому действие принципа (или свойства) тектоники можно рассматривать и как процесс тектонизации форм.

Изучение тектонизации особенно важно в условиях научно-технического прогресса, когда в архитектура имеет место применение самых разнообразных конструкций, к тому же производимых промышленными способами. К исследованию принципов тектоники в живой природе необходимо отнестись как к процессу, нашедшему свое, наиболее явное практическое приложение.

Архитектор А.К. Буров говорил, что архитекторы — старейшие тектонисты. Тектоника есть пластически опосредованная — с целью определенного эмоционального воздействия на человека — конструкция.

Живая природа не ставит перед собой цель “определенного эмоционального воздействия на человека”

конструкциями, но она — прекрасный “тектонист”. Форма живой природы соответствует законам механики и в этом отношении является образцом для конструирования и разработки конструктивных форм в архитектуре.

Тогда возникает вопрос: является ли тектоника чисто художественным средством выразительности и творческим оружием архитектора-художника или это объективная закономерность?

Тектоника — понятие, выработанное человеком. Нет сомнения, что она имеет природное происхождение. Об этом говорят и египетская архитектура, и произведения греческой архитектурной классики, и многие последующие архитектурные стили, в которых “архитекторы-тектонисты” учились у живой природы.

Однако может остаться неясным, каково же различие между тектоникой форм живой природы и тем, что под тектоникой как художественной формой подразумевают архитекторы?

Интересно мнение по этому вопросу архитектора Г.Б. Борисовского, который утверждает, что то, что происходит в архитектуре с конструкцией (и строительными материалами), можно рассматривать в качестве “черного ящика” [2]. Известны только вход и выход. Здесь имеют место два случая. Конструкция на входе и выходе остается неизменной, и архитектура не возникает. Если на выходе к конструкции прибавилось “Нечто”, прибавилась вторая реальность, то конструкция стала одухотворенной. Произошла опозиция конструкции. И появилась архитектура как искусство.

Думается, для того чтобы понять, что такое тектоника архитектурных форм, необходимо ясно представлять цель архитектуры как искусства, а в конкретном случае — композиционную идею архитектурного объекта, которой должны подчиниться все средства гармонизации. В этом процессе и могут возникать различные отклонения от законов природы (механики) и непонятное Нечто. Оно представляется непонятным отклонением по отношению к тектонике конструкции, но оно может быть понятным и совершенно оправданным по отношению к композиционной (и художественной) идее произведения, воплощающей важную общественную цель. Следовательно, отклонение Нечто правдывается в весьма содержательный элемент архитектурной композиции.

Сказанное заставляет еще раз обратиться к той мысли, что каждое явление, чтобы понять его всесторонне, необходимо рассматривать на разных уровнях и в различных взаимосвязях¹.

На уровне инженерного конструирования (чистой конструкции) тектоника выступает как единство конструктивной формы и законов механики. На уровне живой природы, несмотря на то что ее формы — не произведение архитектора-художника, тектоника выглядит значительно сложнее, так как “конструкции” включаются в систему живого организма, выполняющего сложные функции. В процессе функционирования организма происходит наложение одна на другую (и их взаимодействие) различных подсистем, в результате чего возникает живая форма. То же самое (в смысле наложения систем) происходит и в архитектуре. Недаром Ч. Дарвин охарактеризовал процесс формирования живых организмов (включая и естественный отбор) как глубоко творческий. Об этом говорит и советский ученый генетик Н. Дубинин. Конечно, это особое твор-

¹ На понятие “тектоника” в архитектуре существуют различные взгляды. См. Ю.П. Волчок “Тектоника и организация пространственной среды”. — В сб.: Проблемы формообразования. Вып. 1. М., ЦНИИП градостроительства, 1975.

чество, которое нельзя прямолинейно соотносить с творческой деятельностью человека, но в нем присутствует много ее элементов.

Не случайно нами в свое время было предложено называть процесс эстетического освоения конструкций в архитектуре процессом тектонизации, подразумевающей не изолированное эстетическое освоение конструкций, а их гармонизацию в системе всех элементов архитектурной формы [3].

В этом процессе возникает взаимодействие: композиционная идея-функция воздействуют на конструкции и их тектоническую обусловленность, конструкции же участвуют в рождении художественных свойств архитектурной формы. Происходит взаимная корреляция, приводящая к отступлениям от ортодоксальных законов преобразования отдельных элементов формы, вместе с тем создающая ее целостность (не зная ортодоксальных законов, опасно их нарушать).

Но нельзя также отрицать и того факта, что целесообразная форма порождает сама по себе, пусть на первоначальном уровне, чувство гармонии не только в живой природе, но и во всем окружающем нас мире природы (образование горных массивов, скал, геологических слоев, подчиненное законам космической механики).

Поэтому о тектонике необходимо говорить как об объективно-субъективной категории, и это лишний раз подтверждает мир природы. И, конечно, не прав тот, кто переводит понятие тектоники в архитектуре в чисто эстетическую категорию, оторванную от ее объективной основы.

Но прежде, чем перейти к рассмотрению тектонических форм, необходимо обратиться к характеристике природного материала, из которого строятся формы и который непосредственно влияет на формообразование.

“СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ” ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Что такое строительный материал живой природы? Если под этим подразумевать те химические вещества, из которых он состоит, то они во всем мире и во всей окружающей нас материи одинаковы. Никакого смысла нет смотреть на него и с тех позиций, с которых мы подходим к строительному материалу в архитектуре. Для строителей материал — это однородная субстанция с одинаковыми механическими свойствами по всем направлениям и т.д., короче говоря, масса, не имеющая структуры, но обладающая определенными физическими свойствами.

Точно так же мы первоначально подходим и к “материалу” живой природы. Мы проверяем его на физические и механические свойства — на прочность: на сжатие, на растяжение, на кручение и т.д.; на теплопроводность, влагоемкость — и получаем определенные данные, называя их свойствами природного материала. Но сказать, почему они такие, чаще всего очень трудно.

Дело в том, что в живой природе не существует такого материала (как, например, в строительстве), из которого “делается” конструкция. В живой природе материал одновременно и конструкция, так как он с рождения конструктивно организован.

Поэтому исследование строительного материала живой природы превращается в сопоставление его механических свойств с его структурой или с конструкцией, и в этом есть большой смысл, особенно в наше время, когда мы стараемся, во-первых, к созданию рациональных конструктивных форм, во-вторых, к производству так называемых “композитных” или составных материалов, обладающих универсальными свойствами и удовлетворяющих разнообразным требо-

ваниям, а в своей разнородной структуре работающих “солидарно”.

Рассмотрим первоначальные свойства “строительного материала” живой природы, поскольку их реализация в архитектуре может дать много полезного в деле создания не только новых, более эффективных материалов (предварительные сведения об этом были даны в гл. V), но в первую очередь интересных по своей тектонике и рациональных конструктивных форм.

Возьмем материал растений, как наиболее дифференцированный и сложный по своим конструктивным особенностям.

Ткани растений можно подразделить на образовательные, служащие для роста; покровные (кожица, пробковая ткань и корка); проводящие, предназначенные для перемещения питательных соков; основные, в которых проходят важнейшие процессы образования и накопления органических веществ (сердцевина стеблей, мякоть листьев и сочных плодов и т.д.), и, наконец, механические ткани или волокна.

Ткани растений как бы специализированы, между ними существует подобие разделения труда. Основную механическую функцию несут механические ткани, но также и другие ткани, так как все они обладают теми или иными механическими свойствами.

Имеются следующие типы растительных механических тканей: склеренхима, каменные клетки — склереиды, колленхима. Наиболее прочными тканями, последовательно выполняющими чисто механические функции, являются склеренхимные — затвердевшие ткани и каменные клетки. Примечательно, что применение в практике архитектуры и строительства тонких эластичных материалов — пленок, а также тонких гибких волокон и создание на их основе растянуто-напряженных конструкций (например, вантовых и аэростатических) заставляет пристальнее взглянуть в эти же ткани живого организма и вдуматься в характер их механической работы. Если затвердевшие ткани образуют как бы каркас и твердую жесткую оболочку живой системы, в основном способную выдерживать сжимающие, изгибающие и в какой-то мере растягивающие напряжения, то многие нежные, легкие ткани, не отнесенные ботаникой к механическим, выдерживают не меньшие, а часто и большие, к тому же сложные комплексные напряжения (например, растяжение и кручение).

Солидарность тканей растений рассматривалась в гл. V на примере строения клеточной оболочки. Расширим область исследования и выведем его на уровень макроструктуры. Возьмем стебель растения и его сосудисто-волокнистые пучки, в которые входят, наряду с механическими тканями, также проводящие питательные вещества сосуды. Последние представляют собой одревесневшие компоненты длиной до десятка сантиметров, активно включающиеся в механическую работу стебля. Сосуды приобретают различную структуру, согласованную с их физиологическими и механическими функциями: кольчатую, спиральную, сетчатую и т.д.

Интересно также, что в середине сосудисто-волокнистого пучка расположены живые, способные делиться клетки образовательной ткани — камбия. В результате деления камбия возникают те клетки, которые затем, видоизменяясь, дают различные элементы сосудисто-волокнистых пучков. Наружу камбий откладывает клетки ситовидных трубок (нисходящие токи), образующих луб, внутрь — клетки сосудов (восходящие токи), формирующих древесину.

Механическая (арматурная) ткань многих растений обладает пределом прочности на разрыв $\sigma_{прч} = 3\,700 \text{ кгс/см}^2$ (у льна $\sigma_{прч} = 7000 \text{ кгс/см}^2$), т.е. примерно таким же показателем, что и сталь Ст3 $\sigma_{прч} = 3800\text{--}4000 \text{ кгс/см}^2$.

Но разница здесь заключается в том, что механическая ткань имеет предел пропорциональности $\sigma_{\text{прч}}$, тождественный пределу прочности, у стали же он значительно ниже, и уже при $\sigma_{\text{прч}} > 2000 \text{ кгс/см}^2$ сталь перестает подчиняться закону Гука — закону пропорциональности между напряжениями и удлинениями, и материал начинает, как говорят, течь и лишь потом благодаря некоторой перестройке кристаллической структуры металла наступает последнее усилие в сопротивляемости — или временное сопротивление разрыву. Механическая ткань растения подчиняется закону Гука до предела прочности, минуя указанные промежуточные стадии поведения материала, характерные для стали. Этот факт объясняет такое свойство механической ткани растений, как сочетание прочности и эластичности, твердости и вязкости, сообщающие особую эффективность материалу в смысле универсальности его реакции на действие разнообразных нагрузок.

При всем этом растительные ткани обладают и хорошими удельными свойствами, т.е. хорошим соотношением прочности, жесткости или модуля упругости к удельному весу тканей: у древесины $E/\gamma = 2,7 \cdot 10^3$, у железа $E/\gamma = 2,8 \cdot 10^3$ (E — модуль упругости, γ — удельный вес). Но при этом древесина обладает большей надежностью в работе, что связано с ее вязкостью — очень ценным конструктивным свойством.

Известный исследователь в области физических свойств различных материалов Джон Гордон пишет: "самый тяжкий грех конструкционного материала — не достаточность прочности или жесткости, которые, конечно, совершенно необходимы, а недостаток вязкости, иными словами, — недостаточное сопротивление распространению трещин" [4].

Дело в том, что прочность все более или менее твердых материалов (в том числе и сталь) значительно ниже теоретической из-за расположенных по всей их структуре микроскопических трещин, появление которых связано с разрывами атомных цепочек. Под действием нагрузок трещины в связи с концентрацией около них напряжений начинают распространяться с молниеносной быстротой, резко снижая потолок сопротивляемости материала. Следовательно, стоит проблема торможения трещин. В растительном мире в стволе дерева, стебля и т.п. благодаря органичному соединению в твердых и хрупких (например, склеренхимных) и эластичных тканях трещины по всему сечению материала распространяться не могут. Кроме того, чем тоньше нити волокон, тем меньше возможности возникновения в них трещин.

Инженеры используют этот природный принцип. Для создания новых материалов применяются специальные создаваемые "сверх-волокна", обладающие прочностью, приближающейся к теоретической. Первая идея этого применения органическая — чем тоньше волокно, тем меньше возможности появления в нем трещин. Прочность таких волокон достигает 70 000—100 000 кгс/см², или в 20—30 раз большей прочности стали Ст3 (например, кристаллические "усы", возникающие на поверхности металлов). Вторая органическая идея — расположение таких тонких волокон в каком-то пластичном материале, с которым он должен крепко схватываться, чтобы получился строительный материал для конструирования. В итоге возникает модель природной структуры, но значительно усовершенствованной (именно таким и должен быть архитектурно-бионический процесс).

Физики в своих лабораториях производят сейчас подобные конструктивные материалы, основываясь на исследовании "строительного материала живой природы", но результаты их работы пока не доходят до строителей.

На перспективу можно было бы говорить о создании не пассивных материалов, какими они являются в

строительстве, а активных, как в органическом мире, т.е. таких, которые можно было бы подпитывать энергией. Снабжая материал энергией, ему можно придать бесконечную эффективную жесткость. И это не фантазия, а реально открывающаяся возможность.

Нужно принять к сведению и еще один важный момент, касающийся материала растений, — он легкий, если был не вода. Мы знаем, что ткани растений содержат иногда до 80—90% воды. Значит "сухое" вещество в растении составляет чаще всего совсем небольшой процент.

Сухое вещество включает в себя органический и неорганический компоненты. Если сжечь сухое, обезвоженное растение, то останется негорючий серый порошок — зола. Органическая часть растения, состоящая из углерода, водорода, кислорода и азота, соединившись с кислородом и водородом воздуха, превратившись в углекислый газ и пароводяную воду, улетучивается.

Золы по отношению к массе сухого вещества в среднем получается 5%*, по отношению же к массе всего растения с учетом 80—90% массы воды количество золы понижается до 0,2—0,15%.

В живом состоянии в сочетании с водой, материал становится тяжелее, но вместе с тем он приобретает эластичность, гибкость и одновременно упругость, не теряя прочности. Правда, некоторые ткани живой природы, например механические, лишены такой эластичности и приближаются к минеральным материалам — они как бы переходные.

Мы рассмотрели в основном материал растений. Полученные выводы можно отнести и к материалу других видов живого мира. Отметим лишь, что затвердевшим тканям растительного мира соответствуют подобные же, еще более твердые ткани в животном мире. Это — скелеты и всевозможные скорлупы, раковины и панцири животных. Многие из подобных образований нашли применение в строительстве — известняк, ракушечник и т.п. По химическому составу они почти подобны естественным строительным материалам, но значительно отличаются от них своей структурой, что и заставляет посмотреть на окаменевшие элементы живых организмов другими глазами.

Большой интерес представляет костный материал и мышечные ткани животных, выполняющие в организме прямо противоположную механическую работу: кости скелета в основном работают на сжатие и на изгиб, мышцы и сухожилия — на растяжение.

Рассматривая природный материал, нужно отметить еще такой интересный факт, как зависимость механических свойств материала живой природы от окружающих природно-климатических условий (особенно влажности, так, панцири морских животных в воде приобретают эластичность) и питания живых организмов. Установлено, что механические свойства скорлупы яиц, панцирей животных, волокон растений неодинаковы в различных местностях (это нужно учитывать при исследованиях материала живой природы).

В связи с более пристальным изучением материала растений и других видов живой природы в наши дни уже начинает меняться отношение к требованиям, предъявляемым к конструктивным свойствам строительного материала. Например, не только тонкие нити — ваны, но и синтетические пленки стали строительными материалами, выполняющими свою конструктивную роль, часто эффективнее, чем тяжелые минеральные или искусственные каменные материалы. Конструк-

* В частных случаях от этой цифры есть значительные отклонения: в древесине — около 1%, в семенах — 3%, в листьях — 12%. Есть такие водоросли, которые накапливают в себе до 50% и более неорганических веществ.

тивными строительными материалами также становятся вода как наполнитель и газообразные вещества, которые при определенных условиях (предположим, под давлением и в совокупности с синтетическими пленками) создают упругие и устойчивые конструкции. Этим, конечно, не умаляется ценность твердых и жестких минеральных материалов — они по-прежнему остаются основными в строительстве. В современных же условиях они также позволяют делать легкие конструкции, например оболочки-скорлупы из армированного бетона, стали и т.д., прообразы которых мы обнаруживаем в живой природе.

Именно этот новый взгляд на строительные материалы и новый подход к их использованию, заимствованный из живой природы, а отсюда и создание на этих принципах новых конструктивных систем приводят к возникновению еще малоизученных с точки зрения тектоники конструктивных форм в архитектуре.

Одновременно изучение строительного материала живой природы поможет разобраться в принципах дифференциации и интеграции, специализации и интеграции, специализации функций (в связи со специализацией тканей), а также и в технологических процессах приведения функции и формы к единству, целостности и гармонии.

ПРОТИВОРЕЧИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ФОРМ И ТЕКТНИКА

Если оторваться от механизма функционирования живых организмов и подняться над всеми его элементами, то можно обнаружить две противоречивые тенденции, которым подчиняется развитие всего живого мира.

Одна тенденция — непрерывный рост и развитие (через механизмы полимеризации и дифференциации, см. гл. IV), вторая — ограничение роста, связанное с двумя факторами, направляющими организмы на энтропийность, — экономией энергии (стремлением к компактности через механизм интеграции), а также гравитацией (притяжением к земле), ориентирующей формы на статичность.

Обе тенденции находят свое отражение и одновременно разрешение противоречия в таких принципах формообразования, как складывание и закручивание, в частности спиралей, в возникновении плотных, но дифференцированных упаковок, превращающихся в решетчатые и ячеистые образования, комбинируемые из различных элементарных форм, а также во взаимодействии "конусов" роста и "конусов" гравитации. Чаще всего эти принципы действуют в живой природе комплексно, что способствует разнообразию ее форм, а их комбинации представляют большой интерес для архитекторов.

Но обратим внимание на такую форму, как шар (сфера). Шар является идеальным примером рациональности с точки зрения энергетического баланса (предельно оптимальное отношение поверхности к объему — наименьшая поверхность на максимальный объем). Но эта форма в ее правильном геометрическом виде реже всего встречается в живой природе — лишь в среде с постоянными, неизменяемыми параметрами биохимических и биофизических режимов. Следовательно, живая природа не рациональна? Нет, она рациональна, только ее рациональность нельзя понимать в чисто физическом (энтропийном) и в энергетическом смысле. В противоположность энтропийному ее нужно представлять в информационном потоке или, как рациональность роста и развития, направленного на совершенствование форм, — их приспособляемости к жизни, к удовлетворению своих потребностей. И в этом процессе физическая рациональность часто нарушается, а

равновесность энтропийная превращается в равновесность динамическую.

Специфика такой рациональности накладывает отпечаток на природные формы, которые мы воспринимаем как еле уловимые нюансные изменения или относим к отклонениям, к "незаконному" нарушению норм. Пожалуй, эти "мягкие" изменения форм производят наиболее сильное эстетическое впечатление на человека, и к ним устремляется душа художника (см. выше принцип "малых изменений" форм).

Рассмотрим некоторые принципы формообразования во взаимосвязи с тектоникой форм. Один из них — спиральный принцип развития был уже подробно рассмотрен в гл. 1У.

С точки зрения формообразования в живой природе интересно рассмотреть как разрешение противоречия и достижения целостности, так и принцип взаимодействия двух "конусов" — конуса устойчивости и конуса роста и развития. Его можно заметить и в мире растений (стебли, стволы деревьев, кроны деревьев) и среди раковин, грибов и т.п.

Особенно ярко принципы конуса проявляются в растительном мире, означая собой борьбу двух правил. Первое правило — реализация способности стеблей растений (правда, не всех), стволов деревьев к устойчивости, как реакции на действие силы гравитации, (силы тяжести) и ветровых нагрузок — отсюда конус основанием вниз — конус устойчивости. Второе правило — стремление к росту, из "точки", из семени вверх, вширь, в пространство — отсюда конус основанием вверх — динамическая форма конуса. В итоге в органической природе на основе комбинации двух конусов возникают различные формы (рис. 1).

"Борьба" двух конусов — роста и устойчивости — проявляется, например, в кронах деревьев. Кроны деревьев внизу начинают развиваться по принципу конуса роста (конус вершиной вниз) и заканчиваются конусом устойчивости (конус вершиной вверх). Таким образом, крона деревьев состоит как бы из двух конусов. Такая форма служит и средством достижения благоприятной освещенности кроны солнцем. В отдельных случаях верхний конус бывает полный (ель), в других — усеченный.

В относительно плоских или сферических открытых структурах можно говорить о треугольнике роста и треугольнике, замыкающем рост: древесные листья, лепестки цветов и т.д.

Эта органическая тенденция борьбы двух конусов часто интерпретируется архитекторами (памятник Христофору Колумбу. Архит. К.С. Мельников).

Сочетание принципа компактности и дифференциации особенно наглядно проявляется в плотных упаковках повторяющихся стандартных элементов живой природы.

Повторяемость однотипных элементов в живой природе функциональна. Она связана как с необходимостью выживания, экономии времени и энергетических ресурсов, так и с продолжением рода, т.е. с ростом и развитием (более подробно о стандартах говорилось в гл. У).

Еще один принцип — принцип малых, постепенных изменений формы, к которым стоит еще раз вернуться в связи с проблемой тектоники.

Создается впечатление, что существует два рода физических законов: основные — симметричные и какие-то добавочные, приводящие к особым нарушениям симметрии. Это — "странные" усложнения в устройстве мира". И, надо добавить, что так называемые "слабые нарушения" приводят, по-видимому, далеко не к "слабым" результатам.

Сердце у человека чуть-чуть смещено влево от оси

грудной клетки, но именно это смещение дало возможность отойти от жесткой конструкции мечевидного отроста в область гибкой демпфируемой части грудной клетки — ребер.

В живом мире именно небольшие изменения, называемые мутациями, могут вести к появлению новых видов.

В архитектуре постепенное изменение диаметра греческой колонны по вертикали — ее энтазис, утолщение — есть не что иное, как проявление принципа малых изменений с их постепенным нарастанием или убыванием. И именно этот принцип постепенных (малых) изменений сделал греческую колонну архитектурной, т.е. конструктивно выразительной.

В современных условиях свод — оболочка — скорлупа — пример постепенного изменения напряжений от сжатия к растяжению. Оболочка исключает резкие изменения формы, поскольку именно в местах резких ее изменений возникают большие напряжения. И это не только в оболочках. То же самое можно наблюдать и при стыковке безкапитальных колонн с перекрытием. Не случайно поэтому в классической архитектуре так тщательно оформлялся переход от колонн к архитраву.

Если обратить внимание в этом смысле на природу, то она стремится во всех случаях погасить резкие изменения напряжений устройством особых переходных узлов и постепенными изменениями формы (например, соединение ствола дерева и ветвей). Вот поэтому, наверное, в природных формах отсутствуют наиболее ненадежные острые и прямые углы.

Во взаимосвязи материала, конструкции и формы большое значение, по нашему мнению, имеет гравитация, являющаяся одним из факторов, формирующих тектонику зданий.

Гравитации подчинены и формы живой природы, и формы архитектуры. Однако в живой природе, в ее формах выражается не только гравитация, но и стремление к преодолению гравитации. Отсюда в тектонике форм живой природы отражается противоборство действия сил гравитации и ее преодоления. С нашей точки зрения, рост растения — это равнодействующая между гравитацией и притяжением Космоса, которое несомненно, существует, иначе не существовала бы земная, солнечная и другие космические системы. Интересен в связи с этим не такой уж неправдоподобный, с точки зрения научной теории, случай с бароном Мюнхгаузеном, когда он вытащил себя за волосы из болота. Кроме того, если Мир — движение, то в процессе движения всегда можно найти момент полета — отрыва от Земли, преодолевающего гравитацию (например, всадник, скачущий на лошади и облегчающий свой вес, не сходя с нее).

В архитектуре пока учитывается только земное притяжение (гравитация). Такая практика и сопровождающая ее своя научная психология в будущем может отрицательно повлиять на конструктивные разработки сверхвысотных зданий, которые представлены в виде перспективных проектов для будущего (Ф.Л.Райт и др.). Однако эти здания, тек же как и летающие "коконопланы" А.Мутняковича, и плавающие под водой дома-амфибии и т.п., будут очень нужны человечеству в недалеком будущем.

ПРОБЛЕМА ЕДИНСТВА ТЕХНОЛОГИИ И АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ. КОНСТРУКТИВНАЯ СИСТЕМА — ТУРБОСОМА

Важнейшей проблемой современной архитектуры является ее тесное партнерство с технологией индустриального производства: технология должна способствовать свободному развитию архитектурных форм, архитек-

турные же решения — соответствовать возможностям технологии.

Во всех случаях целевому объекту строительного производства необходимо научиться управлять средствами — технологией. Примером такого подхода может служить живая природа, в которой средства формообразования — технология роста и развития — находятся в единстве с процессом становления формы, а строительные материалы, конструкция и алгоритм их производства — с формами природы.

На основе исследования принципов формообразования живой природы в лаборатории ЦНИИТИА смоделирована первоначальная технологическая идея получения пространственных конструктивных форм типа оболочек-скорлуп, сложных поверхностей, названных турбосомами (*турбо* — вращение, *сома* — тело). Эта технология, с нашей точки зрения, может дать ряд преимуществ в создании новых архитектурных форм и позволяет в пределах предлагаемой идеи решать проблему единства технологии, конструкции и архитектурной формы (рис. 1).

Было замечено, что в живой природе такие образования, как стволы деревьев, стебли растений или опорные кости скелетов, животных для приобретения большей устойчивости усложняют свою форму за счет закручивания вокруг оси без изменения при этом (или с малым изменением) формы поперечного сечения. В результате, в случае, например, трубчатых образований возникают тонкостенные витые оболочки, сложные изгибы форм которых помогают природе сделать их более устойчивыми к нагрузкам, а при закрученных стволах деревьев — и к действию сил ветра. При этом механической сопротивляемости закрученных форм помогает их геометрия (рис. 2).

Такое закручивание, абстрагируясь от конкретных форм и их чрезвычайной сложности, можно смоделировать следующим достаточно простым способом, используя стандартные элементы. Если непрерывно вращать с поступательным движением (в одном направлении или с комбинацией направлений по часовой стрелке и против нее) вокруг прямой или любой кривой линии стандартную пластинку, остающуюся все время перпендикулярной к направляющей и имеющую любую форму (кроме окружности), то можно получить разные по форме и сложности поверхности (рис. 3) ¹.

Большой диапазон форм возникает даже в том случае, когда операции производятся пластинками одной формы и одного размера с комбинацией в различных вариантах шагов винтовой поверхности (a отсюда и скоростью закручивания: $a = H/2\pi$) с направлением поворота пластинки и изгибами направляющей линии, а также с расположением центра вращения фактически с нарушением правила классической винтовой поверхности.

Поверхности фиксируются в моделях, с которых затем снимаются оттиски из упругого и прочного материала, интерпретирующие тонкостенные оболочки-скорлупы (рис. 4).

Модели получаемых оболочек-скорлуп могут стать основой как для конструирования покрытий, так и для строительства высотных сооружений с небольшой площадью опирания. Во втором случае сооружение может приобрести жесткость и прочность при помощи сложной изогнутой, легкой и полной формы оболочки. Одновременно такая оболочка получает по сравнению с цилиндрической формой возможно большую устойчи-

¹ Элементарной поверхностью такого вида является винтовая поверхность — геликоид (прямая круговая поверхность), образованная пропорциональным подъему H равномерным поворотом прямой вокруг оси, перпендикулярной к ней.

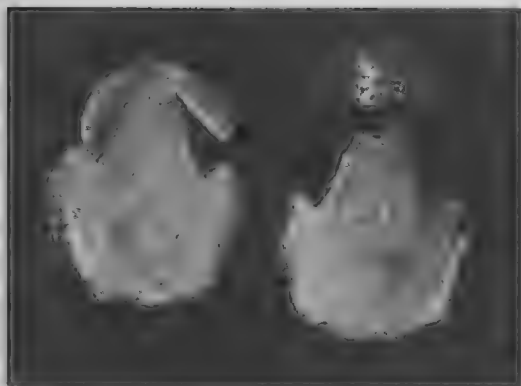


Рис. 1. Принцип конуса (гриб). Турбосомы — принципиальная модель. Архит. Ю.С. Лебедев

Рис. 2. Винтовое закручивание форм живой природы. Закрученный ствол пианы. Малая берцовая кость ноги человека

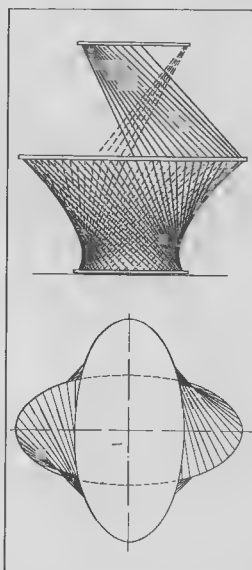
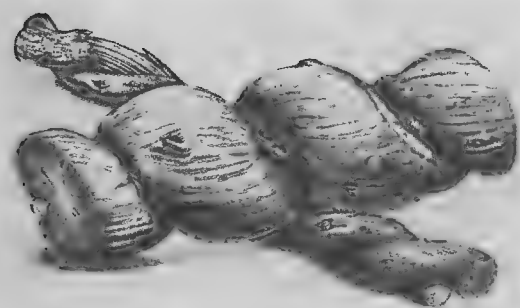
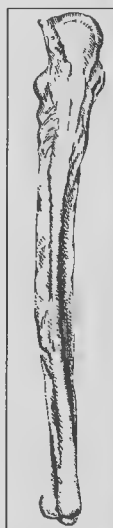


Рис. 3. Варианты форм турбосом. Вращение пластинки вокруг криволинейной и вертикальной оси



вость по отношению к нагрузкам. ЦНИИТА совместно с ленинградскими инженерами ЛенЗНИИЭП выполнен проект смотровой башни и кафе подобной конструкции высотой около 30 м для подмосковной зоны отдыха "Русский лес" (под Серпуховым) (рис. 5).

Модель здания (с каркасом), сконструированная на основе элементов вращения, с их дискретным размещением вдоль оси показана на рис. 6. В этом случае криволинейная поверхность образуется прямыми ли-

ниями стержней или вантов, соединяющих одноименные точки повернутых относительно друг друга по спирали овальных пластинок.

Принцип поворота стандартных пластинок по вертикали заставил задуматься над возможностью его использования и в строительстве, осуществляемом методом подъема этажей, что могло бы сообщить зданиям дополнительную пластику. В этом методе возникают достаточно широкие возможности варьирования формой здания, однако это варьирование ограничено использованием типовой конфигурации плана междуэтажного перекрытия.

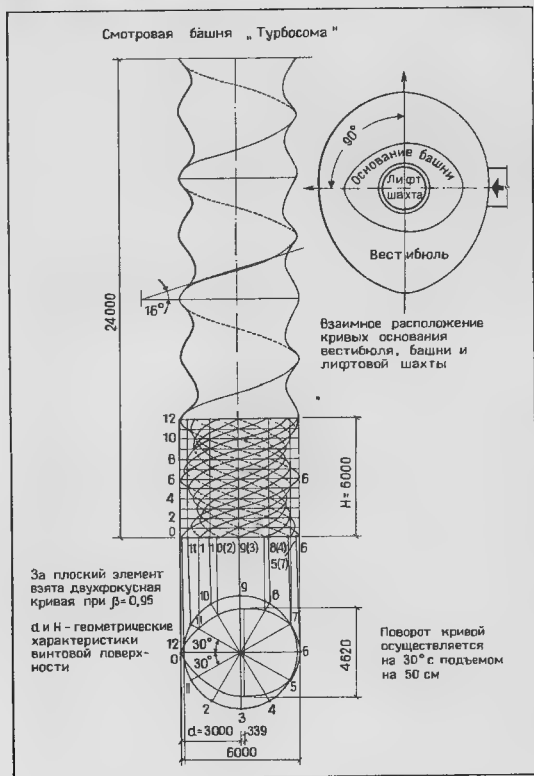
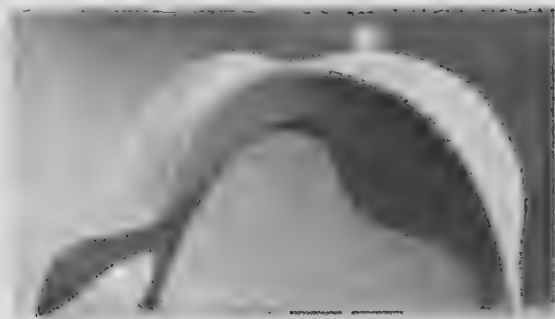


Рис. 4. Оболочка-скорлупа — сегмент поверхности турбосомы

Рис. 5. Проект башни с рестораном для зоны отдыха "Русский лес" под Серпуховом. Архит. Ю.С. Лебедев. Разработка технического проекта В.Л. Постников

Вместе с тем возможен путь варьирования формой жилых зданий в жилом комплексе на основе одной, типовой конфигурации междуэтажного перекрытия.

Например, при строительстве жилого или общественного здания предлагается выбрать ту или иную конфигурацию плана междуэтажного перекрытия, соответствующую требованиям функции, конструкции, технологии строительного производства, и поднимать это перекрытие не параллельно самому себе, как это обычно делается, а с какими-то поворотами вокруг центральной оси здания — лифтовой шахты. Повороты могут



Рис. 7. Варианты высотных зданий с поворотом этажей (модели). Архит. Ю.С. Лебедев; предложение Ю.В. Котова (3)

Рис. 6. Каркасно-пластинчатая высотная структура с поворотом пластин. Архит. Ю.С. Лебедев

быть в виде непрерывного одностороннего спирального движения междуэтажного перекрытия. Повороты могут совершаться через одно перекрытие по левой и правой спиральям. Возможны повороты относительно друг друга групп этажей и т.д. (рис. 7).

Что это дает архитектуре?

В этом — не только художественно-эстетический смысл и поиск средств преодоления привычной назойливой прямоугольной трактовки форм архитектуры. Принцип поворота междуэтажных перекрытий позво-



Рис. 8. Технологическая модель получения оболочек-скорлуп для покрытий зданий



Рис. 9. Малые архитектурные формы — турбосомы. Архит. В.И. Тимофеев, лаборант Ю.С. Лебедев, дизайнер В.Ф. Смирнова

ляет улучшить функциональную структуру зданий, например устройство балконов, лоджий, получающих одинаковые возможности инсоляции в течение почти всего дневного времени суток. Или, наоборот, регулировать инсоляцию в соответствии с необходимыми ее ограничениями (например, в жарком климате). Не

случайно у многих растений листья расположены по спирали, что дает возможность их регулярного обеспечения солнечными лучами.

Спиральная поверхность здания лучше приспособлена к преодолению ветровых нагрузок — ветер как бы скользит по ее изгибам, снижая мощь своего воздействия.

Создается возможность в лучшей изоляции друг от друга квартир и балконов и т.д. Особенно большие объемно-планировочные возможности возникают при строительстве таким методом общественных и производственных зданий.

В то же время авторы турбосом прекрасно понимают, что для реализации их в практике необходим длительный период конструктивных и технологических разработок, но эти временные затраты должны оправдать себя, если мы хотим и дальше совершенствовать среду существования человека.

И еще один аспект принципа турбосом может быть использован в практике — это организация реального, механического вращения этажей перекрытия башенных зданий и сообщение им динамической композиции.

Представим себе жилые дома, в которых этажи, как и многие листья растений, вращаются в течение дня вслед за солнцем. Каждой квартире — солнце. Идея такого жилья рассчитана больше на перспективу. Но применение вращающихся за солнцем или "убегающих" от солнца этажей может иметь и реальное звучание, например, в случае использования такого принципа для строительства вертикальных оранжерей. Сама оранжерея будет представлять собой аналог растения, цветка, стебля с поворачивающимся вслед за солнцем в течение суток листьями.

Возможно еще одно практическое приложение принципа поворота — это организация работ по возведению на строительной площадке оболочек-скорлупок из монолитного железобетона, армоцемента, пластмасс или производство их в заводских условиях. Для этого могут быть использованы стандартные кружала (в том числе и пневматические). Вариантность форм можно расширить изменением угла наклона по отношению к направляющей оси (рис.8).

Путем поворота плоских пластинок различной формы вокруг криволинейной оси можно получать разнообразнейшие покрытия, незамкнутые формы оболочек, которые могут быть использованы в первую очередь для создания малых архитектурных форм города или в качестве градостроительных скульптурных элементов (рис.9).

КОНСТРУКТИВНО-ТЕКТНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Стойечно-балочная система. Дальнейшая рационализация конструкции и тектонических форм высотных сооружений — колонн, балок и т.д. — может быть связана с изучением аналогичных систем живой природы и стоит как проблема архитектуры сегодняшнего дня. Чтобы строить выше, необходимо применять новые конструктивные приемы, в основе которых должен оставаться независимо от высоты зданий основополагающий принцип — минимальной затраты материала и максимального облегчения массы конструкции. Вавилонские башни из "груды камней" нам сейчас ни к чему, да они и не соответствуют времени. Высотные здания будут типовыми. В Чикаго построено известное 100-этажное общественно-жилое здание Джон-Хэнкок высотой около 400 м. В ближайшее время намечено построить десять таких типовых зданий.

Мировая архитектурно-строительная практика знает немало высотных сооружений, интересных форм, вы-

полненных на основе рациональных конструктивных решений. Но если их сравнить с вертикально стоящими стеблями растений или стволами деревьев, то мы увидим, что творения природы и в конструктивном отношении, и в смысле разнообразия и красоты форм куда более совершеннее, чем то, что умеют сегодня делать зодчие.

Исследования структур живого мира, их закономерностей, принципов построения и затем использование последних в архитектуре и строительстве может способствовать успешному решению и вопросов строительства высотных зданий (наряду с другими вопросами в архитектуре).

В чем смысл изучения конструктивно-тектонических свойств стволов деревьев, стеблей растений и других образований с точки зрения совершенствования аналогичных структур в архитектурно-строительной практике? Ведь если оглядеться вокруг, в архитектурной жизни мы видим примеры зданий и сооружений, значительно более высоких, чем то, что встречаем в органическом мире. Самые высокие сооружения природы — секвойи, эвкалипты и баобабы — едва достигают высоты 100 — 200 м. В то же время перед нашими глазами высится Останкинская телевизионная башня в Москве, почти в три — пять раз превышающая самые высокие деревья, существующие в мире.

Следовательно, с точки зрения высотности зданий среди растений нет достойного образца для подражания. Так зачем же заниматься изучением вертикальных структур в растительном мире? Но что-то нас здесь все-таки привлекает!

Ограниченность высоты деревьев связана, по-видимому, не с несовершенством их конструкций. С этой точки зрения они имеют еще достаточно много неиспользованных возможностей, если судить об этом по тем механическим свойствам материала, о котором мы писали выше, — о комплексности учета всех факторов (мы же часто одно делаем в ущерб другому), об универсальности с точки зрения приспособляемости и о надежности. В частности (это касается последнего момента) — жизнь дерева может быть очень продолжительна. Например, возраст остистой сосны достигает 4600 лет. При этом "живыми" ткани остаются лишь в отдельных частях деревьев, большая же часть их стволов превращается в окаменевшую субстанцию. Несмотря на все невзгоды природы, сосны долго стоят вросши корнями в землю.

Размерность живых организмов связана также и с их происхождением, наследственностью — не всегда и не всем видам живых организмов нужны большие размеры, даже наоборот. Если же возвратиться к высоте деревьев, то их размерность ограничивается и предосторожностью, связанной не столько с опасением нехватки сил для подачи воды вверх, к листьям, сколько экономией ее расходования и возможностями обеспечения ею. Если задаться целью специального выращивания больших организмов, высоких деревьев, передавая их от поколения к поколению, то можно получить не только килограммовые помидоры или яблоки, но и деревья-рекордсмены, значительно более высокие, чем существующие.

Архитектурная практика показывает, что каждый раз правильно примененный в сооружениях конструктивный принцип живой природы способствует совершенствованию конструкций зданий.

Исследуя принципы конструирования вертикальных стебельчатых структур и стволов деревьев, мы должны каждый раз экстраполировать качество данной размерности на большие размерности, а не останавливаться на их сопоставлении. Здесь следует вспомнить о тех методических положениях, которые мы рассматривали в начале книги, и обратиться к при-

ципу относительной самостоятельности функций и действия связей. Количество не всегда переходит сразу же в новое качество, а новое качество не всегда сразу же дает количественные результаты.

Исследования принципов построения вертикальных, форм растительного мира и их использование может идти в различных направлениях — конструктивной структурности или взаимного размещения в стеблях или стволах деревьев прочных и другого вида тканей; изменения форм по вертикали и горизонтали, в поперечных и продольных сечениях; принципов пружинности и демпфирования и т.д. В нашем сознании укрепились несколько одностороннее представление, например, о конструкции древесного ствола, как о колонне, корнями заземленной в основании и свободной в вершине. В то же время недостаточно учитывается тот факт, что ствол на любом этапе своего роста представляет собой предварительно напряженную пространственную конструкцию.

У различных пород деревьев по-разному строится конструктивный остои, однако они все имеют и общие, объединяющие их черты, обусловливаемые более или менее одинаковым действием гравитации, ветровых и снеговых нагрузок. В процессе роста и развития ткани древесины подвержены сходному действию солнечных лучей, температуры, влажности, почвенно-климатическим условиям и т.д., также влияющим на их механическую структуру.

В стволе дерева (или стебле растения) механические ткани соседствуют с мягкими, основными, образовательными и им подобными "физиологическими" тканями, выполняющими прежде всего функции питания и обмена. Если удалить мягкие ткани, то останется или обтянутый снаружи упругой оболочкой (корой или кожей) сложный пространственный каркас, выполняющий роль опорной системы, или каркас, состоящий из нескольких "труб", вставленных с зазорами одна в другую, что обусловлено различными факторами, в том числе и чередующимся образованием весенней (менее прочной) и летне-осенней (более прочной) древесины.

В целом ствол дерева — это система плотно прижатых одна к другой различных по форме трубок (с перегородками или без них, с кольчатыми или спиралевидными утолщениями), связанных между собой либо клеящими веществами, либо поперечно развивающимися клетками (например, клетками сердцевидных лучей, расположенными радиально и пересекающими древесину через более или менее равномерные участки по всей вертикали ствола дерева) (рис.10).

В корнях растений, находящихся под землей и работающих главным образом на растяжение, наиболее прочный материал расположен по центральной продольной оси, а к периферии плотность тканей уменьшается. Подобным образом сконструированы и многие надземные элементы растений, например, лианы, по гибкости приближающиеся к канатам.

Выше мы говорили о значении формы в становлении конструктивных свойств объектов живого мира.

Разнообразны в поперечнике очертания стеблей растений: это круглые, овальные, квадратные, простые и с вспарушенными углами, звездчатые, выпуклые, многоугольные и тому подобные формы (рис. 11). Их поверхность может быть гладкой, граненой, каннелированной.

Формы стеблей растений и стволов деревьев в продольном обводе также разнообразны. Стволы деревьев в общем древостое могут иметь цилиндрическую форму, при расположении на открытом пространстве — кеглеобразную форму, в средних условиях — параболическую.

В связи с действием силы тяжести, гравитации и

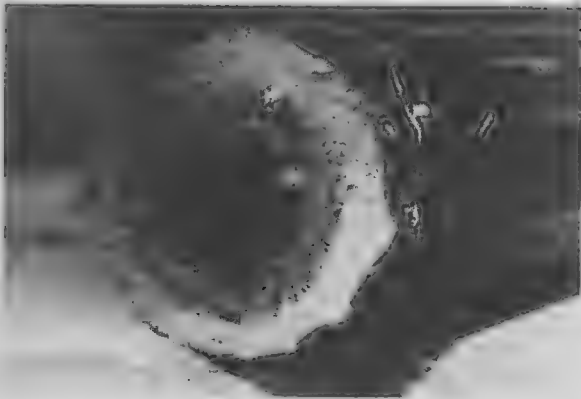


Рис. 11. Стебель растения (борщевика). Общий вид в препарированном состоянии (фото Ю.С. Лебедева)

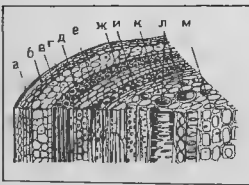


Рис. 10. Структура ствола дерева. Аксонометрия

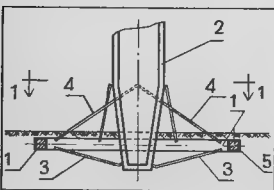


Рис. 12. Пружинящий фундамент, аналогичный корневой системе дерева. Автор — канд. техн. наук В.Г.Корнилов. Разрез; план
1 — опорная плита; 2 — опора; 3 — радиальные несущие венты; 4 — стабилизирующие венты

ветровых нагрузок, как правило, форма ствола дерева расширяется книзу, придавая ему большую устойчивость. Такую же форму, в результате инженерных расчетов приобретают и многие наши сооружения, т.е. здесь мы наблюдаем действие закона "устойчивого конуса".

Серьезное значение приобретает для строительства в особых условиях (районах, подверженных действию сильных разнонаправленных ветров, землетрясений и т.д.) природный принцип пружинности, эластичности, демпфирования. Проявление этого принципа в различных видах мы наблюдаем и в строении позвоночного столба человека, и в стволах деревьев, и в стеблях растений.

В нижней зоне ствол дерева характеризуется не только большим диаметром, а следовательно, и существенным увеличением момента сопротивления ветровым нагрузкам, но и наличием большой массы затвердевших тканей, обеспечивающих несущую способность нижней части ствола при работе на сжатие с изгибом. К вершине дерева ткани становятся более жизнедеятельными и более эластичными. При действии ветровых нагрузок верхняя часть стволов деревьев, эластично прогибаясь,

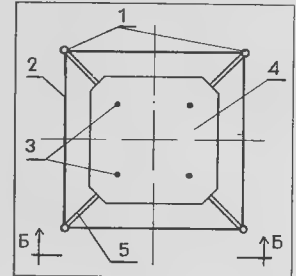
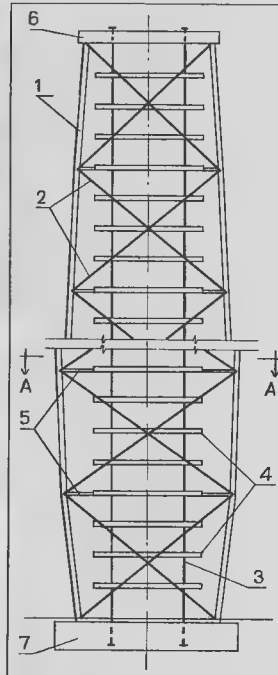


Рис. 13. Пружинящий каркас высотного здания. Конструкция каркаса; общий вид; поперечный разрез. Автор канд. техн. наук В.Г. Корнилов

1 — колонны; 2 — стержни; 3 — крестовая решетка, образуемая продольными предварительно-напряженными вантами; 4 — перекрытия или диафрагмы; 5 — жесткие или включающиеся связи; 6 — траверсы; 7 — фундамент

амортизирует энергию ветра. Если бы не гибкость верхней части стволов, то из-за большой парусности крон деревьев стволы и корни — особенно у высоких деревьев — не смогли бы выдержать большие изгибающие моменты от действия ветровых нагрузок.

В 1921 г. советский архитектор А.М.Лавинский предложил проект идею дома-квартала на рессорах.

В наше время инженер-архитектор Ф.Отто сконструировал модель колокольни, состоящей из отдельных элементов (подобных позвонкам позвоночного столба человека или междоузлиям стеблей растений), соединенных шарнирно по вертикали. Предварительное напряжение, создаваемое системой вант, подобных мышцам, связало их воедино и превратило в пружинящую мгновенно-жесткую стержневантовую систему.

Интересно решение пружинящей конструкции высотного здания и фундамента в наше время создал канд. техн.наук В.Г. Корнилов. Стволы деревьев (например, ели) часто как бы покоятся на разветвленных корнях, которые при этом, располагаясь недалеко от поверхности земли, формируют собой сложную пружинящую систему. Элементы этой системы — корни — работают на растяжение, а вместе с грунтом — как монолитная конструкция. В данном конструктивном предложении используется этот принцип (рис. 12).

Целью предложения является улучшение использования несущей способности грунта основания и прочностных свойств элементов фундамента. Достигается это тем, что венты образуют пояса, один из которых обращен выпуклостью вниз, а другой — выпуклостью вверх. Кроме того, для обеспечения безмоментности опорной плиты от основных видов нагрузки форма опорной плиты в плане соответствует очертанию многоугольника сил от действия системы вант.

Фундамент башенного сооружения включает опорную плиту (1) и прикрепленную к ней и к сооружению системе радиальных вант (2), образующих пояса, нижние из которых (3) являются несущими, а верхние (4) — стабилизирующими. Плита совместно с системой вант представляет двухпоясную вантовую ферму. Опорная плита (1) воспринимает нагрузки от сооружения и передает их на грунт основания фундамента. В статическом отношении опорная плита (1) загружена усилиями вант — центральным полем сил и работает от основных видов

нагрузок на центральное сжатие. Конструктивно плиту выполняют из материала, хорошо работающего на сжатие (например, из железобетона); она может иметь в поперечном сечении прямоугольную, трапециевидную, тавровую и другую форму в зависимости от конкретных условий. Очертание оси (5) опорной плиты в плане определяется характеристиками силового поля, создаваемого несущими (3) и стабилизирующими (4) вантами. Ось (5) плиты (1) может либо иметь ломаное очертание либо при достаточно большом числе вант быть очерченной по плавной кривой, например по окружности. Для закрепления в кольце несущих (3) и стабилизирующих (4) вант предусматривают устройство отверстий либо выпусков арматуры и т.п.

Несущие ванты (3) передают вес сооружения на опорную плиту (1) и являются растянутыми элементами. Стабилизирующие ванты (4) объединяют конструкцию в неизменную пространственную систему, способную воспринимать изгибающие моменты от сооружения, что достигается предварительным натяжением конструкции в случае необходимости. Несущие и стабилизирующие ванты заанкеривают в опорной плите и в сооружении, где с этой целью также предусматривают устройство отверстий либо выпусков арматуры и т.п. Связи, являясь растянутыми элементами, могут быть изготовлены из стержневой, пучковой либо тросовой арматуры. Если требуется, они могут быть обетонированы и предварительно напряжены.

В стебле растения мягкие ткани сердцевинны растут быстрее, чем его более жесткая оболочка. В результате возникает предварительно напряженная конструкция: осевая часть стебля стремится растянуться, а оболочка стебля, препятствуя этому, старается сжаться. Чем выше напряжения, тем устойчивее и прочнее становится конструкция (до определенного предела).

Другой интересный принцип живой природы — это пружинящие волокна стеблей растений, проходящие вдоль него по периферии. Этот принцип стал основой для разработки каркаса высотного здания или иного башенного сооружения (рис. 13).

Цель настоящего решения — повышение уровня использования прочностных свойств каркаса. Достигается оно тем, что в каркасе высотного здания (или башенного сооружения), включающем колонны, объединенные в неизменяемую систему стержнями решетки, предварительно напряженные ванты, закрепленные в верхней диафрагме и в фундаменте и опирающиеся на ванты перекрытия и промежуточные диафрагмы, колонны расположены в плане в углах выпуклого многоугольника, и их продольная ось имеет полигональное или криволинейное очертание с выпуклостью наружу каркаса, причем часть перекрытия соединена с колоннами жесткими или включающимися связями. Кроме того, возможно выполнение каркаса из секций, причем напрягаемые ванты закреплены в смежных диафрагмах.

Вследствие искривленности колонн при предварительном напряжении вантовых элементов в стержнях решетки возникают растягивающие усилия, обеспечивающие неизменяемость каркаса, в котором отсутствуют внецентренно-сжатые элементы. Это обеспечивает меньший удельный расход материалов на каркас по сравнению с известными конструкциями.

К колоннам (1) крепятся стержни (2) крестовой решетки, которые обеспечивают неизменяемость каркаса при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Продольные напрягающие ванты (3) закреплены на траверсе (6) и в фундаменте (7). На ванты опираются перекрытия или диафрагмы (4), некоторые из которых могут быть соединены с колоннами жесткими или включающимися связями (5).

Колонны являются основными несущими элементами

каркаса и воспринимают всю вертикальную нагрузку от перекрытий, усилия предварительного напряжения, создаваемые вантами, а также частично воспринимают усилия от горизонтальных нагрузок. Стержни крестовой решетки являются для колонн постелью, препятствующей их направленной деформации из плоскости наружу здания (или сооружения). Величина усилий предварительного напряжения вант выбирается так, чтобы при действии на каркас горизонтальных нагрузок стержни крестовой решетки не выключались из работы. Прогиб колонн принимается порядка 1/50 высоты колонны и подбирается в зависимости от конкретного соотношения величин вертикальных и горизонтальных нагрузок. Таким образом, колонны работают на центральные сжимающие усилия и практически не могут потерять устойчивости, поскольку взаимно раскреплены стержнями, являющимися по условию всегда растянутыми.

При действии на здание (сооружение) симметричных вертикальных нагрузок от перекрытий усилия в колоннах возрастают и колонны стремятся увеличить прогиб, чему препятствуют стержни решетки. При действии на сооружение горизонтальных нагрузок, как показывает кинематический анализ, усилия в напрягаемых вантах (3) практически остаются неизменными, а восприятие нагрузок осуществляется в основном колоннами и стержнями (2). При этом благоприятным является тот факт, что при продольно-поперечном изгибе каркаса происходит выравнивание усилий в стержнях решетки вследствие относительно небольшой собственной изгибной жесткости колонн. Это исключает возможность перенапряжения отдельных стержней решетки колонн при различных возможных сочетаниях расчетных нагрузок и свидетельствует о рациональном использовании прочностных свойств элементов конструкции.

Предлагаемая конструкция каркаса представляет собой предварительно напряженную самоуравновешенную стержневую систему, в которой усилия в стержнях решетки непосредственно зависят от усилий натяжения продольных напрягаемых вантов. Коэффициент связи (влияния этих усилий) подбирается в необходимых пределах путем подбора кривизны колонн. Этим достигается оптимальное использование прочностных свойств элементов каркаса.

В конструктивном решении башенного высотного сооружения (см. рис. 13) с целью рационального распределения усилий предварительного напряжения следует разделять каркас по высоте на три секции. Это дает возможность подобрать сечения элементов каркаса и величины предварительного напряжения в зависимости от действующих усилий. Аналогичное решение возможно и для каркасных зданий.

В настоящее время предпочтительными материалами для основных элементов каркаса здания, в частности колонн, являются сталь или железобетон; для вант рационально применение высокопрочной стали с их обетонированием после монтажа перекрытий и их предварительного напряжения; для стержней крестовой решетки, жесткость которых на растяжение определяет в основном изгибную жесткость каркаса, предпочтительно применение сборного предварительно напряженного железобетона. Для каркасов сооружений типа радио- и телевизионных башен рационально применение стали. Предлагаемая конструкция снижает металлоемкость, увеличивая при этом долговечность и улучшая эксплуатационные качества, обеспечивает повышенную пожаростойкость, поскольку несущие колонны и стержни решетки могут быть вынесены на достаточно большое расстояние от помещений здания (т.е. возможного очага пожара); в связи с этим дополнительная изоляция их может

либо отсутствовать, либо быть минимальной. Пожарная изоляция вантовых элементов, имеющих обычно компактное сечение, надежно осуществляется при незначительных расходах огнезащитных материалов (путем бетонирования, обмазок облицовок и т.п.).

Кроме того, предложенный каркас здания (или сооружения) может иметь разнообразные архитектурно-планировочные решения, так как эксплуатируемые площади помещений свободны от массивных конструктивных элементов.

Оболочки-скорлупы и принцип сопротивляемости конструкций "по форме". К оболочкам-скорлупам предъявляются особые требования. Прежде всего они должны быть из жесткого материала, форму иметь пространственно изогнутую, толщину незначительную по отношению к пролетам и сечение по всей поверхности одинаковое; лишь в краевых элементах в местах передачи усилий на фундаменты или другие опоры они могут утолщаться. В связи с этим и усилия в них распределяются особым образом: в сечении оболочек, например, совершенно исключаются изгибающие и крутящие моменты в связи с их небольшой толщиной, а усилия направляются по касательной к их поверхностям, равномерно в продольном и поперечном направлениях. Малейшие изменения толщины в сжатой части могут вызвать появление изгибающих моментов. Рабочее состояние оболочек — это состояние напряженной мембраны. При симметричной нагрузке в них отсутствуют также и сдвигающие силы¹.

Рибристые криволинейные системы также могут содержать в себе элементы оболочек, поэтому рассматриваемый нами принцип работы оболочек можно отнести как к сооружению в целом, так и к его элементам.

Принцип механической работы оболочек прямо противоположен работе традиционного массивного каменного или кирпичного свода, в котором за увеличением пролета следует увеличение сечения свода.

В конструктивных оболочках существует в противовес традиционным принципам обратная пропорциональная зависимость массы и сечения сводов и куполов от перекрываемых ими пролетов, хотя при этом не отрицается зависимость этих параметров и от принятой системы конструирования. При больших пролетах, применяемых в современной архитектуре, часто невозможно идти по традиционному пути, так как сечения сводов возросли бы до таких размеров, что, пожалуй, не смогли бы выдержать своей собственной массы. Кроме того, сооружение таких сводов было бы связано с большой затратой материалов. Следовательно, для выполнения тех задач, которые стоят перед современной архитектурой в области большепролетного строительства (промышленные цехи, крытые стадионы, хоккей-ринги, города под куполами в северных районах и т.д.), разумно пользоваться оболочками.

У живой природы конструкция типа оболочек очень распространена: это скорлупа яйца, мельчайшие морские организмы диатомеи, панцири животных, гладкие раковины и т.д.

Правда, если проникнуть в их микроскопическую структуру, то мы обнаружим решетчатость их построения, следующего определенным законом конструирования. Каждая такая скорлупа — сложная конструкция.

¹ Большое значение в формировании жестких оболочек имели данные советской науки, в частности разработанная впервые инж. В.З.Власовым базомоментная (мембранная) теория расчета пологих оболочек. Заметим, что сейчас введено в обиход понятие "мягкие оболочки", но они имеют отношение к надувным конструкциям и тентам.

Но при этом все же в оболочках-скорлупах особое значение имеет принцип "работы по форме", как назвали его известные инженеры Э.Торроха и П.Л.Нерви. Для достижения необходимых технических качеств оболочки этот принцип без преувеличения является одним из решающих. Тонкостенные структуры типа оболочек создают условия для "лепки" различных архитектурных пластических форм.

Что значит "работа по форме"? Лучше всего это пояснить на простом примере.

Если взять лист обычной писчей бумаги и положить его узкими краями на две опоры, то лист не удержится на них и соскользнет. Но если сделать из этого листа бумаги корытце и поставить его на две опоры, то корытце не только не соскользнет с опор под действием собственной массы, но даже сможет нести дополнительный груз.

Что же случилось с листом бумаги, почему он приобрел новые механические свойства? Бумага осталась та же, ее масса сохранилась, но изменилась форма, которая перераспределила внутренние усилия. Точнее, претерпели изменения внешние очертания формы, ее конфигурация, соразмерность или, если можно так выразиться, пластика формы.

Именно это подразумевается под связью формы конструкции с ее механическими способностями. За счет изменения пластики оболочковых форм можно получать лучшие соотношения механических способностей и массы конструкций, т.е. экономить строительный материал.

По мнению П.Л.Нерви, прочность по форме — наиболее существенная из всех других средств и наиболее распространенная в природе. Нерви пишет, что такую способность конструкции, "сопротивляющуюся по форме".... мы часто находим в окружающей нас природа: в чашечках цветов, тростнике, скорлупе яйца, панцирях насекомых, раковинах и др." [5].

Лист растения (мягкая оболочка) принимает сложные пространственные формы, которые увеличивают его прочность и устойчивость. Особенно необходимо это длинным листьям: они складываются в трубочку (ковыль, злачные) образуют глубокие складки по длине (осока); высокие прямостоящие тесемчатые листья растения рогоза перекручиваются по длине в спираль и этим выигрывают в устойчивости.

Научиться оперировать формой с целью улучшения инженерных качеств конструкции и нахождения тектоники конструктивной формы — очень важная проблема в творчестве инженеров и архитекторов. Специалисты считают, что умение оперировать формой относится к высшим достижениям в современной архитектуре.

Инженер Э. Торроха, например говорит: "Лучшим сооружением является то, надежность которого обеспечивается главным образом за счет его формы, а не за счет прочности его материала. Последнее достигается просто, тогда как первое, наоборот, с большим трудом. В этом заключается прелесть поисков и удовлетворения от открытий" [6].

Некоторые трудности, связанные с проектированием и возведением в натуре оболочек (не простые методы расчета и в особенности сложных криволинейных, типа сводчатых, форм оболочек, необходимость устройства сложной опалубки в процессе строительства оболочковых конструкций в случае применения монолитного железобетона), в последние годы сократили их внедрение в практику. Однако нет сомнения, что при дальнейшем совершенствовании технологии они снова займут подающее им место. Пока в архитектурной практике применяют довольно небольшой набор геометрических форм оболочек: цилиндрические, полусферические, коноиды, гиперболические параболоиды, т.е. фигуры, доступные для современных методов расчета. Строительство же их ведется главным образом на базе сборного железобетона. Такое применение оболочек, хотя и позволяет достаточно широко вести типовое

строительство, но не дает возможности варьировать их форму, т.е. использовать их самое ценное качество, а отсюда ограничивает и поиски архитектурных решений.

Оболочки живой природы интересны не только в смысле геометрии форм, сочетаемой с принципами распределения в них напряжений от действующих нагрузок. Привлекает также комплексность их свойств.

Возьмем в качестве примера череп человека, вернее, черепную коробку, как ее называют по-немецки Schädeldach "черепная крыша", или черепное покрытие (рис. 14). Основная функция черепной коробки — защитная как от механических воздействий, так и от статических (компрессионного характера). Форма черепа при этом имеет очень большое значение.

С морфологической точки зрения, черепная коробка представляет собой сфероид, образованный (если брать средний возраст человека) из примерно одинаковой по толщине оболочки, плавно изменяющей свою кривизну. Именно благодаря своему равномерному сечению (за исключением оснований черепа, где оболочка становится толще) черепная коробка по принципу своей механической работы сближается с современными искусственными оболочками.

Строение костей черепа по поверхности изменяется от средней части к надбровным дугам и к затылку, где толщина кости увеличивается и в ней возникают пазухи: в первом случае пазуха, заполненная воздухом, во втором — жидкостью. Особо жизненно важные районы мозга тщательно предохраняются, так как такая конструкция хорошо амортизирует силовые воздействия. Но думается, что здесь проявляется и общая закономерность тектоники конструкций вообще, и, в частности, оболочек. Было бы противоестественно, если бы в оболочках их толщина нарастала кверху, к вершине свода. Несомненно, что здесь действует и закон тяготения, требующий устойчивости системы и приближения центра тяжести к ее основанию, а также — необходимость нейтрализации "распора", возникающего в оболочках, у основания конструкции.

Хотелось бы обратить также внимание на асимметричность контура оболочки черепа, что подтверждает многостороннее приспособление конструктивной формы к выполняемым ею функциям. При равномерном сжатии черепной коробки с двух сторон по вертикали в ней возникают ближе к основанию растягивающие напряжения и к темени — сжимающие. При одностороннем динамическом сжатии разрывы появляются в районе действия силы.

В противоположность, например, яйцу черепная коробка не представляет собой монолитное поле, а состоит из различных костей. Примечательно их соединение, к которому с вниманием должны отнестись конструкторы. Это соединительно-тканевые швы, напоминающие рисунок орнамента меандра и образованные входящими друг в друга тупыми зубцами соседних костей черепа. Соединительно-тканевые швы не исключают необходимой жесткости черепа, но в то же время придают ему упругость, являющуюся хорошим амортизирующим фактором по отношению к динамическим нагрузкам и вместе с тем позволяют снизить затраты материала на "строительство" тканей по отношению к возможной статической нагрузке.

Микроструктура оболочки черепа — слоистая. Если проследить ее строение снаружи внутрь, то первым слоем будет кожа, затем сухожилия, костная ткань, имеющая пористое строение, и на границе с мозговым веществом — витринная (полированная) ткань. Между коробкой и витринной тканью располагается пограничный слой, представляющий собой частый ряд перегородок, предназначенных для локализации

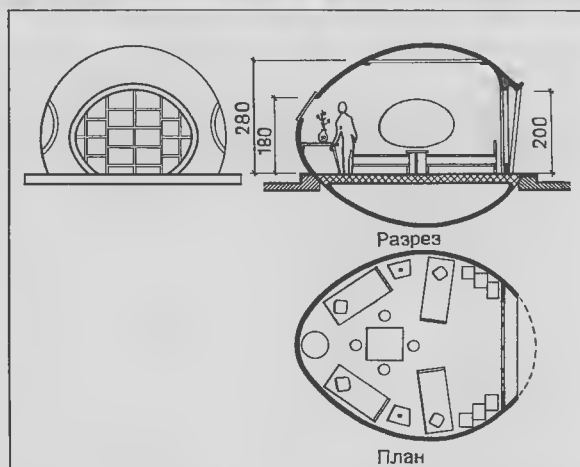


Рис. 14. Оболочковые конструкции

Рис. 15. Жилые домики для зоны отдыха под Серпуховом из армированного бетона. Авторы — архитекторы Ю.С. Лебедев, Н.И. Александрова, геометр Г.В. Брандт

распространения трещин в случае повреждения черепной коробки в столь важном слое, каким является витринная поверхность.

Большой интерес представляет такая природная оболочка, как скорлупа птичьего яйца — геометрия его формы, структура скорлупы и т.д. Многие ученые занимались этим, казалось бы, простым объектом, но до сих пор, насколько известно, не было выведено достаточно убедительное уравнение его формы.

Советский инженер и математик Г.В. Брандт (ВЗИСИ, Москва) вывела уравнение целого семейства двухфокусных парабол и исследовала поверхность, образованную вращением этой кривой вокруг оси симметрии [7].

Ее формула

$$y = \frac{1}{2} \sqrt{\left[1 - \frac{\beta^2}{(x+1)^2} \right] 3x(2-x)},$$

где $\beta = c/a$; a — пополюс большой оси; c — расстояние между фокусами.

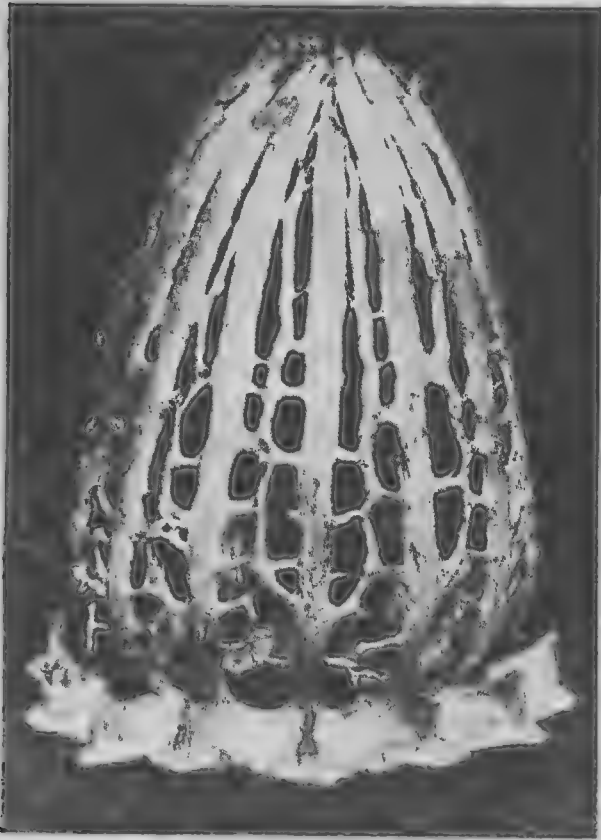
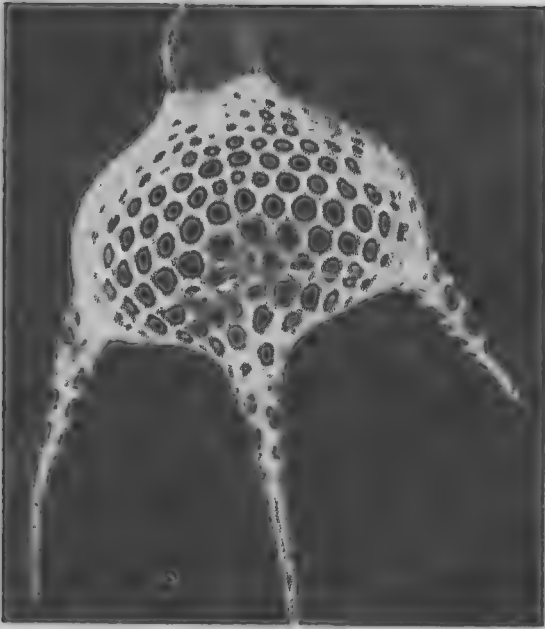


Рис. 16. Пример стержневой решетчатой структуры в архитектуре и живой природе. Радиопярия и каркас семенной коробки мака (фото Ю.С. Лебедева)

Уравнение этой кривой при различных значениях β (коэффициент, характеризующий форму кривой) и постоянной большой оси дает целое семейство кривых, у которых отношение малой оси к большой колеблется в пределах 0,75 – 0,86. В этот диапазон попадает целый ряд меридиальных сечений птичьих яиц. Например, отношение от 0,75 до 0,80 соответствует формам куриных яиц, а от 0,81 до 0,84 – формам перепелиных яиц и т.д.

Ю.С.Лебедевым совместно с Г.В.Брандт запроектированы на основе геометрии птичьих яиц жилые домики для зоны отдыха (ЦНИИЭП курортных зданий и туристских комплексов, Н.И.Александрова) (рис.15).

В живой природе заслуживают внимание довольно распространенные виды асимметричных оболочек, форма которых отвечает асимметрично действующим нагрузкам (например, ветровым). Они не только более живописны, чем симметричные, но при правильном учете наиболее вероятных основных направлений нагрузок дают и экономию материала.

Сетчатые и ребристые коинструктивные системы; структурные решетки. Характерная черта этих систем – распределение функций между несущими и несомыми (ограждающими) элементами конструкций здания. Наиболее прочный материал сосредоточивается на линиях главных напряжений, образуя сетки, ребра, решетки.

Сетки и ребра могут быть расположены в прямых или криволинейно изогнутых плоскостях и имеют незначительные соотношения поперечного сечения и линейных размеров, образуемых ими поверхностей. У решетчатых систем типа структур это соотношение значительно больше. Решетчатые системы можно представить себе как комбинацию взаимопересекающихся ферм. В живой природе яркий аналог первым системам – “структура” широкого листа растения (березы, клена, вяза) с ярко выраженными прожилками – нерватурой, вторым – внутреннее решетчатое образование в плоских костях животных и птиц (лопаточная кость, кость крыла птицы и т.д.), а также рассмотренная выше решетка витринной поверхности черепной коробки.

Ребристая система может иметь свою специфику и представлять собой образование типа грудной клетки человека, животного или птицы (собственно, ее название и заимствовано отсюда). Но в противоположность им в архитектуре она должна удовлетворять установленным нормам деформаций и превратиться в жесткую конструкцию, закрепленную или поперечными связями (плоскими, стержневыми), или прочными заделками оснований и жестким скреплением концов ребер.

В то же время решетчатые системы (структуры) могут, условно говоря, беспрестанно заполнять пространство, структурируя его и создавая возможность функционального использования межрешеточного пространства с архитектурными целями (в этом случае они напоминают в сильно увеличенном виде молекулярные или кристаллические решетки, клеточную структуру растений, пористую структуру морских губок, диатомей и т.д.).

Характерная черта рассматриваемых систем – это их структурность, как бы отражающая всеобщий принцип структурности живой природы. Особенно это касается объемных решеток, образованных из узлов, связей и полей между ними. Неудивительно поэтому, что в архитектурной терминологии часто происходит смешение понятий “структуры”. Э.П.Пиньеро представляет себе структуру как средство материального существования архитектурной формы (т.е. придает этому понятию более широкий смысл, чем конструкции). Еще шире трактуют это понятие Майер-

Дюкан-Банкон, рассматривая их "первоначальный смысл" в качестве "образа действия", при котором части целого организуются между собой.

Мы подразумеваем под структурой конструкцию, или как ее определил Д.Ж.Эммерих: "...ансамбль, состоящий из узлов, соединительных стержней и зон" [8].

Экономичность сетчатых, ребристых и решетчатых конструкций, связанная с пространственным принципом их механической работы, надежность, относительная простота монтажа, особенно после того, как были найдены удачные решения узлов и стыкования стержней (системы "МАрхИ", "Триодетик", предложения инженеров ГДР и др.), возможность вариативности архитектурных форм, способность конструкций перекрывать большие беспорные пространства заставляет думать, что эти конструкции — одни из самых перспективных в архитектуре. Необходимо их и дальше совершенствовать и развивать, а для этого стоит обратиться к органической природе, в которой подобные конструктивные системы встречаются чаще, чем какие-либо другие. Уже имеющийся практический опыт использования конструктивных структур органического мира подтверждает это.

П.Л.Нерви часто обращается к формам и конструкциям окружающего нас мира живой природы. Он использует природный принцип усиления материала тканей по линии главных напряжений, который наблюдается в листьях и семенных коробках растений, морских раковин и т.д. Взяв за основу нерватуру листа водяного экзотического цветка Виктории регии, он конструирует плоское ребристое покрытие фабрики "Гатти" и пространственное покрытие Большого зала Туринской выставки (1949 г.) [9].

В одном из последних своих произведений, в "зале приемов", он также использует природный принцип конструирования по типу ребристой поверхности.

Рассматриваемые природные структуры стали образцами для многих произведений архитектуры наших дней (рис.16). Большие и результативные исследования вел в этом направлении с 1942 г. французский инженер Робер Ле Риколе, изучающий мельчайшие морские организмы — радиолярии и диатомеи.

Сложной, кинематической стержневой системой в живой природе являются скелет человека, скелеты животных. Такая подвижная система благодаря шарнирным соединениям (и мышцам) может переключать свои действия в соответствии с изменением величины и положения нагрузок.

Инженер К.Н.Илленко (институт Союзспортпроект, Москва) сделал предложение по конструированию кинематических ферм с целью уменьшения изгибающих моментов. Предлагаемые им системы выполняются по схемам безраскосных с подвижными опорами шарнирных ферм, находящихся в устойчивом равновесии до тех пор, пока мгновенная скорость растянутого пояса больше мгновенной скорости сжатого пояса. Такие кинематические системы могут найти применение в самоуравновешивающихся конструкциях, сбрасывающих неожиданную нагрузку и возвращающихся в первоначальное положение. Различие между предложенной К.Н.Илленко системой и скелетом животных заключается наряду с другими моментами в том, что движение элементов скелета осуществляется мышцами, а в конструкции К.Н.Илленко — разностью усилий в поясах ферм.

В рассмотренном нами типе конструкций отчетливо проявляется, конечно, в своеобразном виде закон дифференциации.

Стержневантовые, вантовые, мембранные и тентовые конструкции. Стержневантовые несущие конструкции — переходные от стержневых к вантовым.

ции их элементов разделены по виду напряжений: стержни обязаны работать только на сжатие, ванты — только на растяжение (рис. 17). Такое разделение дает большой эффект. Вместо того чтобы растянутые элементы стержневых систем делать из стержней со значительным превышением запаса прочности, утяжеляя тем самым систему, конструкторы решили заменить их тонкими стальными нитями — вантами и получить, таким образом, облегченную конструкцию. Поскольку стальные нити в ненапряженном состоянии эластичны, то таким системам дали еще одно название — мгновенно-жесткие.

Принцип их работы можно сравнить с костно-мышечной системой человека, животного, птицы. Без нагрузки мышцы рук человека находятся в расслабленном состоянии. Но стоит человеку взять в руки какой-либо груз, мышцы-ванты моментально натянутся, напрягутся и зафиксируют в определенном положении стержни-скелеты. В результате в одно мгновение система "скелет — мышцы" становится "жесткой".

Как мы уже говорили, костно-мышечная система — система синергетическая, т.е. самонапрягающаяся. Стержневантовые конструкции тоже можно сделать самонапрягающимися (или самовозводящимися), подключив к ним автоматику. Но в общем виде ее фиксация из "расслабленной" системы в жесткую осуществляется путем натяжения вант.

На кафедре архитектурного проектирования в МАрхИ в 1966 г. проф. М.С. Туполевым, доц. А.А. Поповым и тогда еще студентами, а ныне архитекторами В.Ф. Колейчуком и Ю.А. Смоляровым была сконструирована стержневантовая система, состоящая из треугольников и образующая сферу. Одна сторона треугольника представляла собой стальной стержень, две другие — стальные нити. Вне сферы треугольник был изменяемой системой, а в сфере под натяжением всех вант он становился жестким.

Стержневантовые системы выгодны по сравнению с стержневыми: они более чем в два раза легче таких же конструкций, но состоящих только из стерженьков. У них очень хорошее соотношение между полезной нагрузкой и собственной массой. Однако они имеют и один недостаток — их трудно соединить с жесткими ограждающими элементами. Правда, для покрытия можно применять тенты.

Стержневантовые системы позволяют делать конструкции зданий переменной формы, т.е. при необходимости возможна их быстрая перестройка. Кроме того, их можно перевозить в сложенном состоянии.

Вантовые несущие конструкции комбинируются таким образом, что они воспринимают лишь растягивающие усилия, но для своего натяжения требуют опор — устоев. Они представляют собой натянутые различным способом стальные нити, которые бетонируются или по которым укладывается изолирующий строительный материал. Несущие конструкции, выполненные из вант, отличаются еще большей легкостью, чем стержневантовые.

Такие конструкции широко распространены в живой природе, что дает возможность живым организмам значительно экономить материал. Это — паузы паутины, склеренхимные и колленхимные нити в стеблях и листьях растений, подобные стальной арматуре в толще бетона (сорвите подорожник и в толще его стебля вы обнаружите такие нити), мышцы и сухожилия животных, лианы и т.д.

Например, в Южной Америке пауки способны строить мосты через широкие ущелья. Делается это следующим образом. С высоты какого-либо дерева или уступа скалы паук спускает длинную нить, на конце которой он раскачивается как на качелях. Ветер переносит его вместе с концом нити (а на это паук и "рассчитывает") на другую сторону ущелья — и канатная дорога

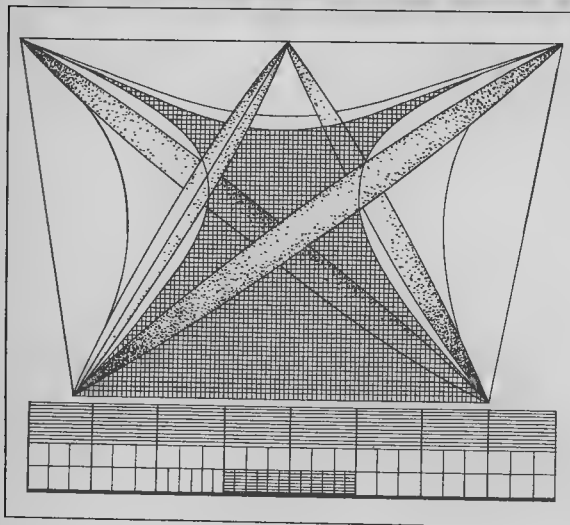


Рис. 17. Вантовая система в живой природе — паутина (фото И.А. Пальмина). Стержневая вантовая система в архитектуре: проект Ботанического сада. Архит. А.И. Леонидов



Рис. 18. Мембраны и тенты: мембраны в природе; соединение малой и большой берцовых костей человека; тенты и мембраны в архитектуре

готова. Вокруг нее и начинается строительство паутины-моста, одновременно служащей большой ловушкой для насекомых и мелких птиц, например колибри. Паучьи мосты могут быть такими прочными, что по ним часто перебираются с одного берега на другой обезьяны. Обратим внимание — несколько склеенных паучьих нитей, образующих как бы кабель, примерно вдвое прочнее стальной проволоки равной толщины. А вообще прочность нитей паутины колеблется в диапазоне от 40 до 261 кгс/мм². В Новой Гвинее широко распространена ловля рыбы паутиной.

В США по принципу паутины построен мост через ущелье Рак-э-Чеки в Калифорнии (В.Г. Годден, Т.И. Лин, А.К. Скорделис). Его проезжая часть длиной 137 м в виде дугообразной кривой, расположенной в горизонтальной плоскости, висит на образующих паутину 80 тонких стальных тросах, закрепленных на разных уровнях в выступах скал.

В чем конструктивный смысл такого устройства моста? Ванты-нити в конструкции выгодны, как уже упоминалось, своей экономичностью — они легки и прочны. Заставить работать материал на растяжение в конструкциях зданий и сооружений — мудрость лишь нашего века, а паук занимается своим ткачеством вот уже 400 млн. лет. Действительно, если взять тонкую проволочку и легко сжимать ее с двух концов, то она быстро согнется. Работая же на растяжение, та же проволочка может выдержать тонны груза. Чем больше нитей, тем надежнее конструкция, так как разрыв одной или нескольких нитей не ведет к катастрофе. В паучьей паутине не случайно иногда насчитывается до нескольких километров паутины, а из одного паука можно вытянуть около 4000 м тонкой пряжи. В 2,5 кг паучьей паутины содержится 40 000 км нитей, по длине равных окружности земного экватора.

Описанный подвесной мост в США удобен также и в смысле его приспособляемости к местности. Ванты, например, исключили необходимость делать в скеле устои моста, что было бы связано с большими трудностями.

Инженеры и архитекторы при проектировании моста Рак-э-Чеки учитывали также сейсмичность места строительства. С их точки зрения вантовая система, подобная паутине, также выгодна в этих условиях, так как обладает упругостью, пружинностью, способностью к демпфированию толчков, динамических нагрузок.

Один из известных ученых в области архитектуры доктор искусствоведения archit. Г.Б. Борисовский, мечтая о будущем, предложил идею подвесного города, который как бы парит в воздухе, освобождая архитектуру от излишнего объема фундаментов, а землю — от застройки. С точки зрения бионики, наиболее "бионично" выглядят те, в которых отчетливо видна сетка из "стальной паутины", перекрытая прозрачной пленкой.

К растягивающимся относятся также мембранные и тентовые (палаточные) конструкции (рис. 18). В живой природе — это различные пленки, широкие мышцы, сухожилия животных, перепонки водоплавающих птиц, крылья летучей мыши, плавники рыб, крылья стрекозы, в каком-то отношении крылья и перья птиц и т.д.

Архитекторы и инженеры создают такие конструкции, которыми перекрываются здания с большими пролетами (например, покрытие Олимпийского объекта — велотрека в Крылатском), а также покрытия в виде мембран, напоминающих работу природных мембран: Олимпийский стадион в Москве, Универсальный зрелищно-спортивный зал в Ленинграде и др.

Пневматические системы¹. Если сорвать молодой стебель, лист лопуха или какого-либо другого растения, то через некоторое время они обвиснут и обмянут — увянут. Это явление связано с потерей внутриклеточного давления и тургора. При этом организм уже не представляет собой напряженную систему, хотя его ткани и могут сохранять свою прочность по отношению к растягивающим усилиям (их мы используем в технике в виде волокна). В этом случае организм теряет какое-то одно из своих опорных свойств.

Что же такое внутриклеточное давление в растении и тургор?

Давление в клетках возникает в связи с образованием клеточного сока, представляющего собой раствор в воде минеральных солей и органических соединений. Вода движется по клеткам в сторону наибольшей концентрации раствора (т.е. туда, где не хватает воды), или, как говорят биологи, диффундирует. В этом случае вещество раствора как бы всасывает воду, действуя наподобие насоса². В результате в клетках создается так называемое "осмотическое давление" — давление клеточного сока на полупроницаемую мембрану — стенку клетки. При достаточном насыщении раствора это давление препятствует поступлению воды. Если имеются излишки воды в организме, то она выделяется через поры наружу — испаряется, если недостаток — то растение "вянет", теряет упругость своих форм.

Но стенки клетки должны противодействовать осмотическому давлению, которое может достигать 100 атм (выше давления пара в самых сильных локомотивах). В большей степени благодаря сильному давлению клеточного сока подорожники, например, могут пробить себе путь к свету через асфальтовые покрытия улиц, а альпийские подснежники — разрушить весеннюю, достаточно толстую корку льда, покрывающего землю. Противодействуя осмотическому давлению, стенки живых клеток соответствующим образом строят свой материал: они упруги, но одновременно и эластичны. Эластичность достигается за счет их пористости и особого волокнистого строения. Соппротивление клеточной оболочки осмотическому давлению называется тургорным давлением, а давление содержимого клетки на оболочку, уравновешенное сопротивлением растянутой оболочки, называется клеточным тургором. Тургор придает упругость органам растений.

Однако стенки живых растущих клеток в общем очень тонкие, и можно просто удивляться, каким образом они выдерживают большие давления. Но это становится понятным, если представить себе сумму клеток, одинаково напряженных соком и как бы поддерживающих друг друга (по такому принципу можно сделать упругую кладку буквально из пузырей, заключив их в соответствующую обойму, подобную коре или коже растения, в виде тонкой, но твердой скорлупы).

Взаимосодерживающие и уравновешивающие друг друга силы в живой природе, подобные росту кожицы, коры дерева, основной ткани; одинаковые по силе, но противоположные по направлению давления в соседних клетках; спиральные вращения клеточного сока и протоплазмы и т.д. можно назвать полярными напряжениями. Эти напряжения помогают живой природе строить структуры с гораздо меньшими затратами материала.

Напряжение в клетках и тканях, вызванное давлением клеточного сока и протоплазмы, можно отнести к гидростатическому (или гидродинамическому)

¹ Раздел написан Ю.С. Лебедевым и С.Б. Вознесенским.

Стенки клеток имеют поры.

давлению. Но кроме давления, оказываемого жидкостью, в клетках может возникать давление, порожденное газообразными веществами. Его называют аэростатическим (или аэродинамическим) давлением. Как гидростатика, так и аэростатика приобретают все большее значение в архитектуре и строительстве. На их основе проектируются и строятся так называемые пневматические (и гидростатические) конструкции.

Пожалуй, не найдется ни одной области хозяйства, в которой не были бы полезными пневматические сооружения. Рациональность же и экономичность их простоты удивительны.

На основе пневматических сооружений возводятся выставочные павильоны, спортивные сооружения, рестораны, кафе, промышленные здания, туристические лагеря в высокогорных районах, зерноовощехранилища.

Например в Ярославле несколько лет назад был установлен воздухоопорный зерносклад пролетом 20 м. Опытное хранение 1000 т зерна показало благоприятные результаты — зерно, пролежавшее зимние месяцы, не снизило своего качества.

Недалеко от Таллина надувной оболочкой перекрыт кинотеатр. Надувные купола удобны и в качестве тепляков для производства строительных работ в зимнее время. В Сыктывкаре под надувным куполом в зимнее время производятся кровельные работы.

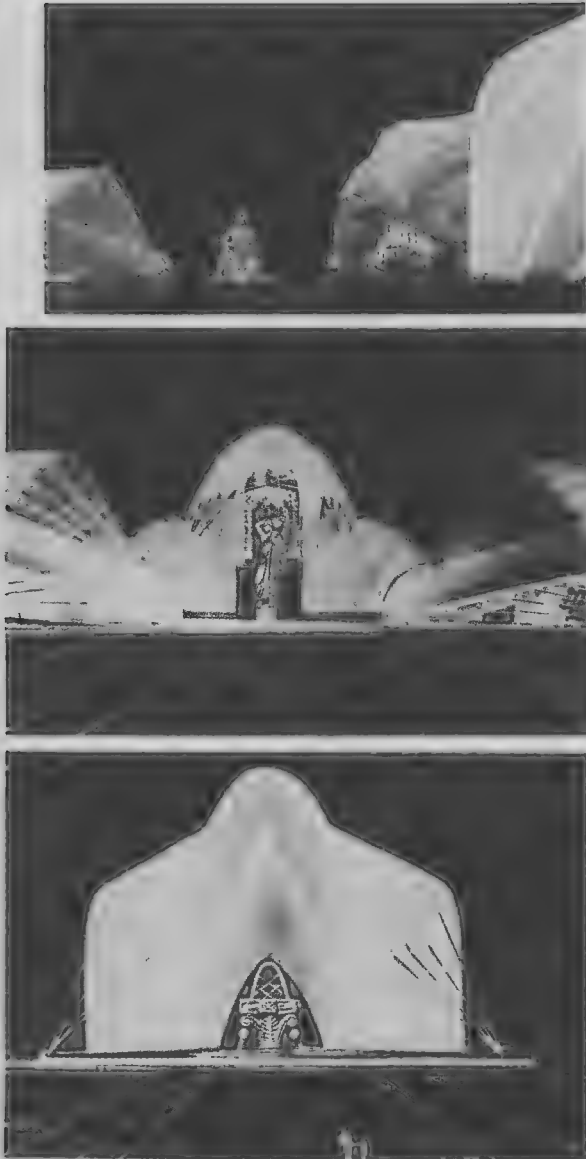
Под надувными прозрачными "пузырями", отражающими инфракрасные солнечные лучи и пропускающие ультрафиолетовые, строятся стадионы в жарких странах. С целью создания постоянного благоприятного микроклимата проектируются из пленок города под куполом для других крайних условий проживания — Заполярья.

Однако в конструировании пневматических оболочек остается еще много проблем, в решении которых должна помочь живая природа. В частности, пневматические конструкции с точки зрения статики пока недостаточно устойчивы (деформируются от сильных ветровых нагрузок). В результате возникает необходимость применения более плотных и тяжелых по массе материалов, чтобы сократить потери давления, и более мощных электромоторов для преднапряжения конструкций, что ограничивает размеры последних. Одно из основных направлений решения этого вопроса — поиски таких форм конструкций, геометрия которых в данных конкретных условиях максимально сокращает силу действия ветров, дождей, снеготаносов, а в воде — водных потоков, т.е. позволяет получить минимальный аэрогидродинамический коэффициент сопротивления.

Конкретные формы живой природы оптимально аэрогидродинамичны. Причем, достижению этого в живой природе способствуют, как уже говорилось, те же конструктивные принципы и средства, которые действуют и применяются в пневмогидросистемах: преднапряженность клеток водой и воздухом, а также эластичность живых тканей. Примером могут служить стебли и листья растений, лепестки и чашелистики цветов, кактусы, а в воде — медузы, морские ежи, рыбы.

Груша, апельсин, кокосовый орех — тоже фактически, аэрогидродинамические системы. Их формы обтекаемы, но каждая приобретает свой характер в зависимости от условий среды, в которых она находится, и наследственности (рис. 19).

Каждая построенная человеком аэрогидродинамическая форма должна также максимально отвечать характерным динамичным факторам среды или места строительства. Только в этом случае можно говорить об их рациональности. Пока что формы аэрогид-



родинамических конструкций идут не дальше сферы, цилиндра и шара.

На поиски аэродинамических форм направлены совместные исследования лаборатории пневматических конструкций ЦНИИСК Госстроя СССР и лаборатории бионики ЦНИИТИА Госгражданстроя.

Интересным и перспективным для строительства на основе пневмогидроконструкций живой природы является принцип автоматической регуляции живых форм и их изменения по мере изменения силы действия нагрузок. Представим себе пневматическую конструкцию в виде 3/4 сферы при "нормальных" ветровых нагрузках. Вдруг поднимается сильный ветер однонаправленного действия. В подветренную часть сферы электромоторы, получая команду от соответствующих рецепторов и датчиков, начинают подавать больше воздуха. Форма в этой части сферы начинают меняться. Другая часть сферы находится в менее напряженном состоянии, как бы отдыхает. По такому же принципу действуют и мышцы человека во время движения или физической работы. Что же получилось бы, если бы человек всегда был в напряжении, настроенном на возможную максимальную

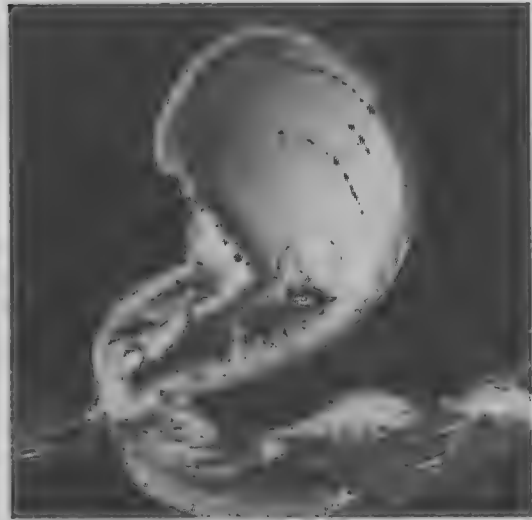


Рис. 20. Поиски форм на основе пневматики. Архит. Г.Б. Борисовский и Я.Я. Титтер

Рис. 19. Лепестки цветка ириса (пример гидропневматики)

нагрузку? Он недолго бы прожил. Поэтому значительно менее долговечны, чем могли бы быть и наши пневматические конструкции, в которых давление равномерно по всей конструкции рассчитывается на предельные нагрузки. Конструкция одинаково напряжена и в тихую погоду, и в бурю.

Природа открывает еще одну возможность, а именно, использования принципов формирования поверхностей фактуры тканей, имеющей большое значение в сокращении силы трения, не говоря уже о самом строении тканей.

Сейчас в строительстве ведутся поиски комбинации пневмокаркасных и пневмовантовых сооружений, более устойчивых к ветровым нагрузкам. Проектируются комплексы на основе синхронизированной пневматической системы, в частности и в экстремальных условиях — под водой.

Интересны в образном отношении поиски форм на основе стандартной пневматической оболочки (рис. 20), осуществленные Г.Б.Борисовским и Я.Я.Титтером.

Бионические конструкции, как и всю живую систему, нельзя рассматривать в отрыве от среды, включая источники питания и энергии, необходимые для функционирования организма. Живые организмы живут и умирают (так же, как и архитектурные "организмы") и их составляющие, их тектоника на различных этапах индивидуального развития (онтогенеза) различны.

Для понимания формирования конструкций необходимо исследование комплекса вопросов, связанных с фундаментальными проблемами формообразования систем природы, в которых основным является действие энергетического фактора. Сохранение жизнеспособности (высокой степени организации) требует, чтобы живые организмы непрерывно принимали вещества и энергию из окружающей среды и выбрасывали отработанные химические вещества, сохраняя гомеостатическое (динамическое) равновесное состояние.

Процессы обмена энергии и сохранения равновесного состояния, происходящие в бионических системах, точнее всего описываются законами термодинамики. Процессы развития и изменения геометрии формы с позиций термодинамики очень важны для трансформируемых систем, в том числе и пневматических, без чего

также нельзя глубоко решать и вопросы тектоники.

Считается, что живая система в пределах своих адаптационных возможностей оптимальна по отношению к воздействиям на нее абиотических факторов среды. Геометрическую же форму живого организма можно рассматривать как некоторое оптимальное решение (или оптимальный результат) из множества конкурирующих.

С позиций термодинамики геометрическая форма различных систем природы (не только живых) может быть представлена как пространственно-временное отображение адаптационных, массо-энергетических процессов, протекающих в этих системах. С другой стороны, геометрическую форму можно рассматривать как относительно самостоятельную — явление, названное в науке морфокинезом. Это понятие соотносимо и с архитектурой, в которой также закономерно исследование геометрии формы и ее преобразования в процессе как исторического, так и индивидуального развития.

Эволюционный морфокинез развивающихся физических и биологических систем — будь то галактика, цветок растения или нейрон — подчиняется единой закономерности, проявляющейся в последовательной смене морфокинетических фаз. Для качественного описания этих фаз вводится представление о компактной, нормальной и диффузной (иррегулярной, атектоничной, ненапряженной) формах системы, а также об эмбриональной (начальной, зародышевой), ростовой, зрелой и агонельной стадиях.

Наблюдая морфокинез биологических объектов природы в их индивидуальном развитии, можно заметить, что начальная фаза развития представлена всегда компактной формой, а конечная — компактной или диффузной (иррегулярной). Основные — спиральные или ветвящиеся геометрические формы этих объектов реализуются лишь в процессе развития (рис. 21).

Смену фазовых морфокинетических состояний очень удобно наблюдать у распускающихся цветков растений, первоначально имеющих компактную форму бутона, преобразующуюся затем в спиральную или другие формы цветов (трансформация, метаморфоз); увядающий цветок принимает более или менее компактную форму или распадается на отдельные лепестки, что отождествляется с диффузной формой морфокинетического состояния. Аналогичные морфокинетические состояния характерны и для жизненных циклов представителей животного мира (рис. 22, 23). Логично предположить, что морфокинез космологических систем идет в таком же направлении, т.е. от компактных сфероидальных форм относительно малых размеров к спиральным формам и на заключительной стадии — снова к компактным формам относительно большого размера, или к диффузным, рассеянным формам (замечим, что галактики — это тоже напряженная, тектоническая система). На рис. 24, 25 представлены фото различных галактик, последовательность которых имитирует процесс формообразования одной галактики с классической точки зрения. Такая имитация противоречит морфокинетической эволюции систем природы. По-видимому, морфокинез космологических систем идет по пути фрагментации малых сфероидальных тел, характеризующихся в начальной фазе развития сверхвысокой плотностью вещества. После фрагментации этих тел наступает спиральная фаза развития — дальнейшее разуплотнение вещества. Заключительная стадия развития космологической системы — преобразование спиральной формы системы в сфероидальную или диффузную с малой плотностью вещества. Такая схема морфокинеза космологических систем в самых общих чертах согласуется с современной концепцией эволюции галактик, разработанной академиком В.А. Амбарцумяном и его школой.

Феноменологические процессы формообразования систем природы, закономерности их морфокинетического развития в онтогенезе удобно исследовать с помощью функций $F(\tau)$ (площади поверхности системы) и $V(\tau)$ (объема системы), изменяющихся во времени. При совместном рассмотрении этих функций соотношение между ними описывается степенной функцией вида $F = kV^\alpha$ ($\alpha = 2/3$; k — постоянная величина, характеризующая компактность формы): чем компактнее форма, тем меньше значение k .

Коэффициенту k иногда придается смысл коэффициента формы тела, что не совсем правильно, так как существует бесконечное множество форм, для которых значения этого коэффициента будут одинаковы (рис. 26).

Известно, что наиболее упорядоченным и структурно организованным геометрическим телом является сфера: при заданном объеме она обладает наименьшей площадью поверхности по сравнению с другими телами такого же объема. В отношении теплообмена живых систем с окружающей средой форма сферы энергетически более выгодна, чем форма каких-либо других тел. Значение k для сферы, равное 4,834, — наименьшее из всех возможных. В качестве иллюстрации в таблице даны абсолютные и относительные значения этой величины для пяти правильных многогранников — платоновых тел (рис. 27).

Геометрические характеристики сферы и правильных многогранников (где за единицу принята сфера)

Геометрическое тело	Площадь поверхности	Объем	k	Относительное значение k
Сфера	πd^2	$\pi/6 d^3$	4,834	1,000
Икосаэдр	$5a^2\sqrt{3}$	$5/12 a^3(3+\sqrt{5})$	5,149	1,065
Додекаэдр	$3a^2\sqrt{5}(5+2\sqrt{5})$	$1/4 a^3(15+7\sqrt{5})$	5,312	1,099
Октаэдр	$2a^2\sqrt{3}$	$1/3 a^3\sqrt{2}$	5,714	1,182
Гексаэдр	$6a^2$	a^3	6,000	1,241
Тетраэдр	$a^2\sqrt{3}$	$1/12 a^3\sqrt{2}$	7,204	1,490

d — диаметр; a — длина ребра.

Изменение функции $F(V)$ при постоянных значениях k и $\alpha = 2/3$ соответствует при определенных условиях процессу подобного преобразования геометрических тел. Этот процесс удобно рассматривать, пользуясь графиком этой функции (рис. 28), который в логарифмических координатах имеет вид прямой линии, наклоненной к оси абсцисс под углом, тангенс которого равен $2/3$.

Множество подобных преобразований самых различных геометрических тел относительно параметров F и V изображается на таком графике параллельными прямыми (на рис. 28 показаны графики функции пяти платоновых тел), лежащими в верхней полуплоскости, ограниченной прямой линией графика $F(V)$ для сферы и осью ординат; чем больше какое-либо геометрическое тело по форме отличается от сферы, тем выше соответствующая прямая располагается над прямой для сферы. Изменение наклона прямой означает изменение формы тел при увеличении или уменьшении их размеров. Очевидно, что прямые, параллельные осям координат, означают какие-то экстремальные случаи изменения формы. Одной из моделей такой ситуации может служить капля бензина, падающая на поверхность воды. Можно допустить, что до падения и в процессе падения капля бензина (гидронапряженная система) имеет сферическую форму и постоянный объем. При соприкосновении с водной поверхностью она растекается и образует пленку, объем которой равен объему капли, а площадь поверхности на несколько порядков превосходит площадь поверхности сферы. Этот процесс изме-

нения формы тела только за счет изменения площади его поверхности отображен на графике рис. 29 в виде прямой, параллельной оси ординат. В алгебраическом отношении такая ситуация соответствует непрерывному изменению коэффициента в уравнении $F = kV^\alpha$ от наименьших до весьма высоких его значений. Интересен и другой экстремальный случай, когда площадь поверхности тела остается постоянной, а объем изменяется до определенной величины. Этому случаю на графике рис. 29 соответствует прямая, параллельная оси абсцисс; моделью здесь может служить футбольный мяч или любая надувная конструкция, раскрой поверхности которых неизменен (при изменяемости формы и объема).

Рассмотренные примеры позволяют сделать вывод о том, что на графике функции $F(V)$ можно изучать поведение всевозможных геометрических тел, связанное с изменением их формы. При $\alpha < 2/3$ преобладает тенденция изменения формы геометрических тел за счет изменения их объема; при $\alpha > 2/3$ — тенденция изменения формы за счет изменения площади поверхности. Иначе говоря, при $\alpha \leq 2/3$ происходит активная перестройка формы тел. Подобное преобразование геометрической формы тел реализуется только при $\alpha \approx 2/3$. Исследования геометрических характеристик раковины моллюсков *Donax*, *Mitilus edulus*, *Patella pontica* показали, что в процессе роста и развития моллюсков (исключая эмбриональную стадию, которая не изучалась) форма раковин изменяется, хотя и остается фенотипически постоянной. Для этих моллюсков показатели степени функции $F(V)$ имеют значения меньше $2/3$ (рис. 30); при этом, коэффициент k может принимать значения, сопоставимые с аналогичными значениями для икосаздра (раковина моллюска *Donax*), додеказдра (раковина моллюска *Mitilus edulus*) и тетраэдра (раковина моллюска *Patella pontica*). Этот факт является несколько неожиданным, так как указывает на существование в живой природе форм, очень близких по своим геометрическим характеристикам к наиболее упорядоченным и организованным геометрическим формам, и в то же время построенных по иному принципу.

В настоящем исследовании показано, что с феноменологических позиций описание процесса развития систем природы, стремящихся к устойчиво стационарному состоянию, соответствует термодинамической теореме Пригожина, согласно которой уровень продуцирования энтропии системы постоянно снижается и становится равным нулю в стационарной стадии.

В онтогенезе живых систем, к которым относятся и архитектурные системы, выделяются четыре стадии развития: эмбриональная (начальная, зародышевая), стадия роста, зрелая стадия и агональная (стадия гибели). В математическом отношении развитие систем можно описать логистической или похожими на нее функциями. Параметрами этих функций могут быть площадь поверхности и объем системы, т.е. по состоянию параметров $F(\tau)$ и $V(\tau)$ можно судить о той или иной стадии развития системы (рис. 31, 32).

Изменение энтропии системы адекватно отражается ее геометрическими параметрами: площадью поверхности F и объемом V . По их изменению, величине можно судить о том или ином состоянии системы на временном интервале ее развития (рис. 33).

В исследовании показано, что геометрическая форма живых систем природы в процессе развития не остается подобной самой себе. В эмбриональной стадии развития скорость изменения площади поверхности системы преобладает над скоростью увеличения объема; в стадии роста соотношение обратное. Наиболее значительные изменения геометрической формы наблюдаются в эмбриональной стадии развития системы (рис. 34).

Термодинамические представления о развитии живых систем природы можно использовать при изучении феноменологических процессов формообразования архитектурных и градостроительных систем, а также в бионическом моделировании объектов природы с точки зрения целевой архитектурной функции.

Воспользуемся рассмотрением термодинамики, чтобы высказать некоторые соображения с этих позиций по отношению к развитию городов несмотря на то, что эта глава посвящена конструктивному аспекту архитектурной бионики.

Развитие города, как одного из элементов архитектурной системы определенного уровня, с термодинамических позиций аналогично развитию биологической системы. Без всяких вычислений, опираясь только на качественное понимание количественных соотношений геометрических параметров простейших геометрических тел, можно показать, что функция для города имеет такой же характер ломаной кривой, как и для рассмотренных выше биологических систем (рис. 31). Действительно, город начинается с простейшего элемента — дома, который хотя и грубо, но вполне достаточно для качественного анализа аппроксимировать таким геометрическим телом, как куб. Город состоит из некоторого множества домов (кубов), что в целом как система представляет собой довольно плоский параллелепипед, который по мере развития города усредняется и становится все более уплотненным. В математическом отношении это означает, что система становится менее оптимальной в смысле соотношения площади поверхности F и объема V .

В какой-то период времени в силу усложнения организации, расширения коммуникаций, ограничений географического характера и т.п. становится экономически нецелесообразным рост города только вширь, поэтому появляются тенденции его роста вверх — повышения этажности (за счет перестройки, реконструкций и т.д.). В математическом отношении это означает, что геометрия города по параметрам становится более оптимальной.

Если на стадии роста геометрическая форма города развивается в направлении иррегулярной (диффузной) формы, то это соответствует такой ситуации, когда он либо адаптирован к условиям своего существования, либо обречен на застой, или на гибель в своем существовании.

АНАЛОГИЯ ФОРМ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРИНЦИПЫ В ПРИРОДЕ И СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ (ЭВОЛЮЦИЯ) *

Теоретические основы архитектурной бионики и ставящиеся ею конкретные задачи являются составными частями учебной и научно-исследовательской программы отделений архитектуры и строительной техники в Веймарском архитектурно-строительном институте, который, осуществляя эту работу, развивает традиции Баухауза применительно к новой тематике.

Одной из важнейших частей программы является анализ конструктивных принципов, которые существуют в естественной окружающей среде, и использование результатов этого анализа для оценки и развития конструктивных принципов и структур в архитектуре.

В историческом очерке уже говорилось о влиянии форм живой природы на архитектуру Древнего Египта,

* © Büttner Oskar, Hampe E. (DDR).

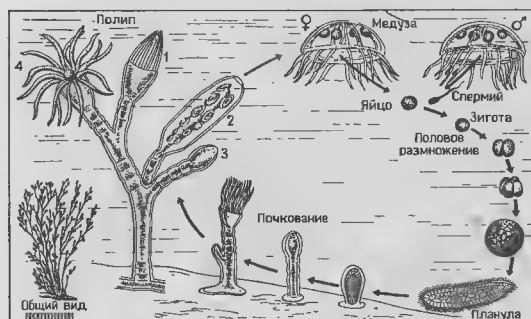
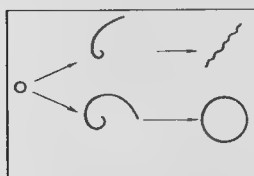


Рис. 21. Принципиальная схема морфокинеза систем природы

Рис. 23. Развитие медузы

Греции, Рима и т.д. Весьма своеобразно природные конструкции интерпретировались в готической архитектуре (рис. 21, 22, 23). Именно в готике впервые на основе аналогий с природой был реализован достаточно последовательно принцип единства функции и конструкций, впервые сформировалась каркасная система.

Перемещение центра общественно-культурной жизни из Средней Европы во Францию и активизация контактов с Востоком в связи с крестовыми походами способствовали возникновению нового, готического стиля на севере Франции в Иль-де-Франс. Каждая из стран, в которых этот стиль получил распространение, — Испания, Англия, Нидерланды, Германия, Северная Италия — вносит в его развитие черты национального своеобразия.

Мастера готики в качестве прототипов выбирают себе уже не античные растения, а растения отечественной флоры, которые превращаются в их руках в новые формы художественной выразительности. В ранних готических капителях предпочтением пользуется мотив почек, который проник сюда из позднероманского стиля. Ряды листьев шалфея, почки бузины, серебристый чертополох, листья герани, маленькие бутоны цветов обвивают теперь чашеобразную сердцевину капители-калафос, производя впечатление свободно положенных на нее и прикрепленных черенками листьев (рис. 35).

Искусство стилизации повторяющихся растительных элементов было доведено создателями готики — зодчими и каменотесами — до большого совершенства в филигранном оформлении больших круглых окон — "роз" над центральными порталами соборов (рис. 36).

Соприкосновение с высокоразвитой архитектурой Востока в период крестовых походов принесло Европе новые представления, новые взгляды, под влиянием которых в европейской архитектуре формируются новые средства художественной выразительности. Наиболее важным средством несущих и стилеобразующих элементов, заимствованных на Востоке, была стрельчатая арка. Она не только давала возможность пробивать тяжелые закрытые поверхности стен, но и обнаруживала при этом большие преимущества в отношении статических свойств перед традиционной полуциркульной аркой. В отличие от полуциркульной стрельчатая арка позволяла более свободно располагать колонны и стол-

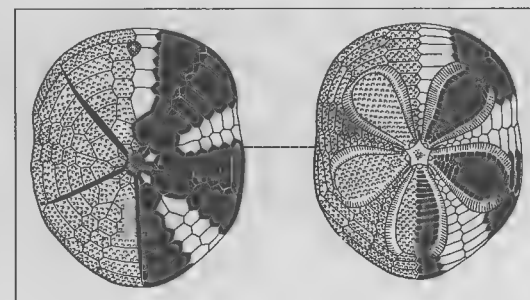
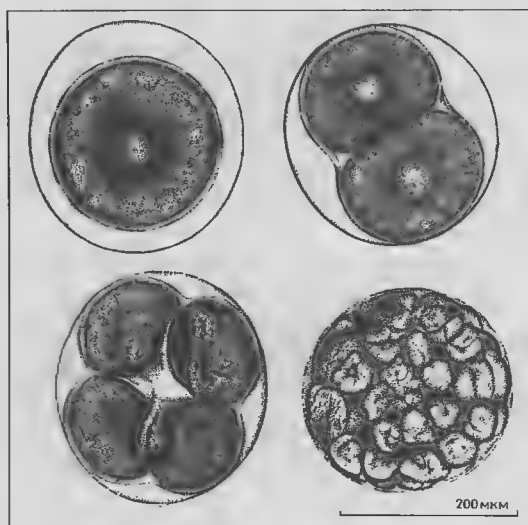


Рис. 22. Развитие морского ежа

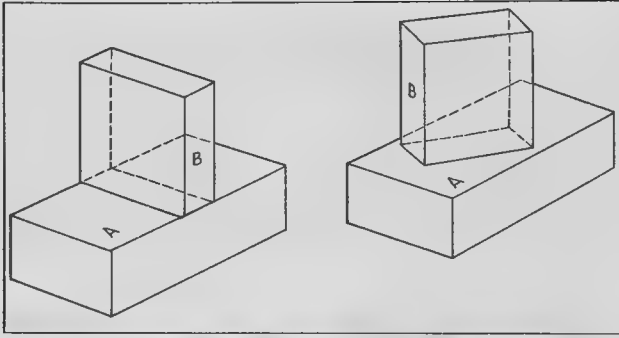


Рис. 24. Различные стадии развития галактик

Рис. 25. Принципиальная схема образования и развития космогонических систем

Рис. 26. Различные геометрические формы фигур с одинаковыми площадью поверхности и объемом

Рис. 27. Платоновы тела

Рис. 28. Грефическое представление зависимости между объемом и площадью поверхности геометрических тел, форме которых не изменяется при изменении их геометрических характеристик: по $Y - \lg F$, по $X - \lg V$

Рис. 29. Графики функции $F(V)$

формообразовательных процессов

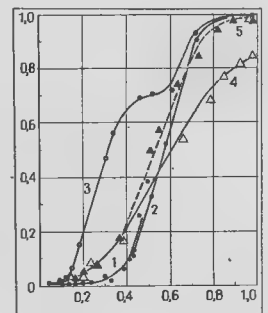
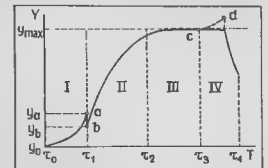
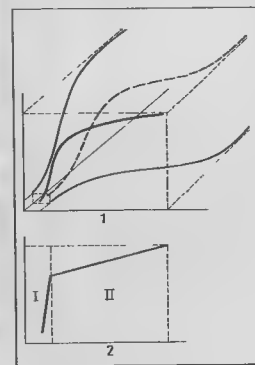
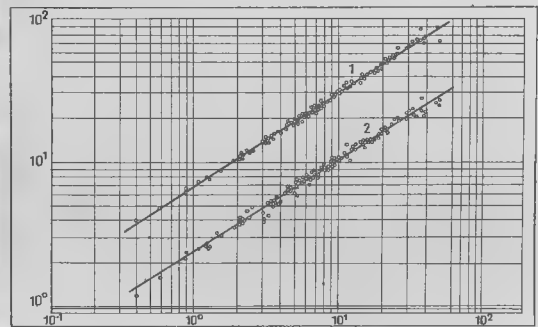
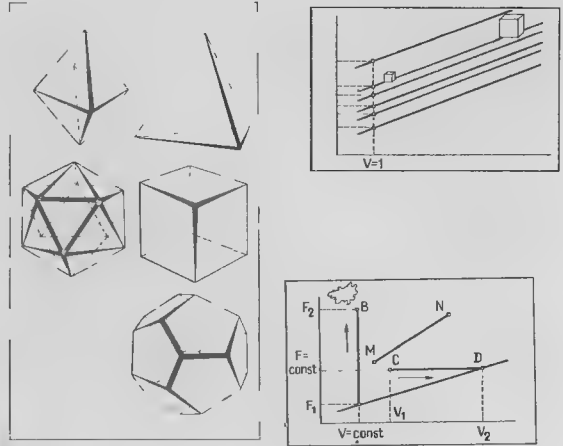
Рис. 30. Экспериментальные результаты исследований геометрических характеристик раковины моллюска мидии

Рис. 31. Изменение объема и площади поверхности системы во времени по логистическому закону

Рис. 32. Этапы в развитии биологических объектов

Рис. 33. Изменение геометрических и физических характеристик биологических объектов во времени

Рис. 34. Принципиальная схема изменения геометрических характеристик систем природы в процессе их развития



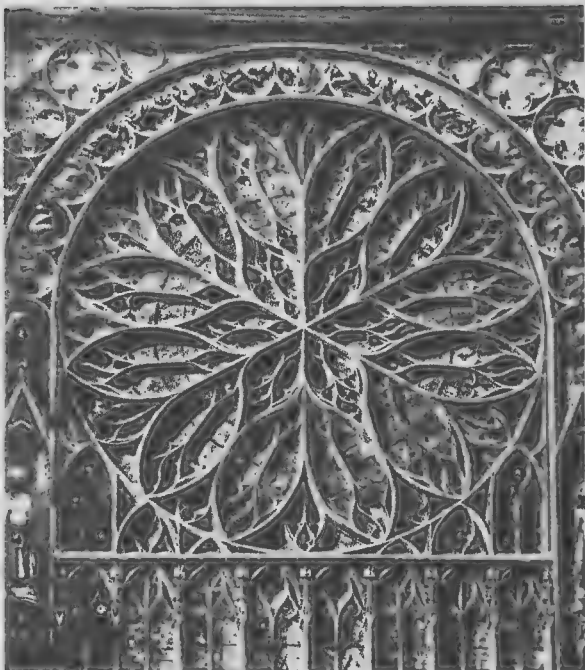


Рис. 36. "Большая роза" над западным порталом Амьенского собора (Франция), построенного в 1220–1268 гг. (из немецкой фототеки в Дрездене)



Рис. 35. Образец немецкой готической капители с ветвями и листьями клена полевого (из книги М. Мойрара)

бы, так как теперь стало возможным выбирать расстояние между осями вне зависимости от того, на какой высоте находится замок свода арки (рис. 37).

Готическую каркасную структуру с ее устремленностью ввысь и тенденцией к облегченности, с ее подчеркиванием вертикальной структуры при помощи башен, колонн, фиал часто сравнивают в литературе с тенденцией движения ввысь по вертикали, которая наблюдается при росте растений и с принципами строения органических каркасных структур.

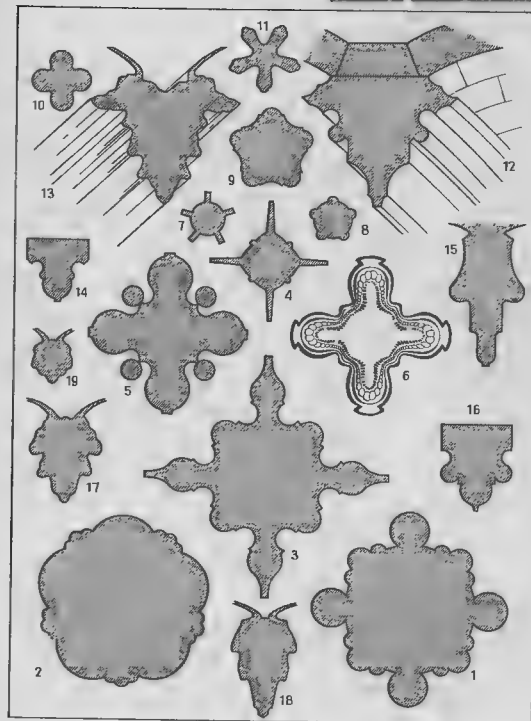
Закономерным было исчезновение в поздней готике капители на переходе между ребрами свода и колоннами. С этих пор ребра свода в их профильных формах плавно переходят в вертикальные элементы колонн. Колонны готических храмов благодаря своей сложной профилировке, напоминающей бороздчатое строение стеблей некоторых растений, перестают производить впечатление тяжелых, массивных. В структуре соединения ребер с колоннами нетрудно обнаружить аналогию формы и функции со структурами растений, например с однолетними, консолеобразными разветвлениями зонтичного или переходами жилок листьев в стебель (см. рис. 37).

Несущие элементы готических храмов в первую очередь удовлетворяют требованиям статики. Они служат



Рис. 37. Аналогия формы и конструктивных принципов. Сравнение строения растений с готической несущей конструкцией. Отчетливо видна аналогия формы и конструктивных принципов: сосредоточение нагрузки на ребрах и передача нагрузки на стержни (в растениях — стебель, в здании — колонны и столбы). Внутреннее пространство позднеготической церкви в Зальфельде (ГДР) (фото К. Г. Бейера).

Переход от ребра свода к столбу (фото О. Бюттнера). Нижняя сторона листа ревеня с главными и вспомогательными жилками; как и в случае экзотического водяного цветка Виктории регии, здесь находит выражение принцип облегчения конструкции (фото О. Бюттнера). Одна из цветоножек зонтикообразного соцветия (увеличена) (фото О. Бюттнера). Аналогия формы поперечных сечений готических колонн и ребер свода, с одной стороны, и стеблей растений прилистников и жилок листа, с другой (из книги М. Мойрера). Поперечные сечения: столбов (1, 3, 5), ребер сводов (12, 14, 16), стеблей растений (2, 4, 6, 11), жилок листьев и прилистников (13, 18) и др.



для изменения направления наклонно действующих касательных сил на ребра сводов. Наружные арочные контрфорсы или висячие арки воспринимают касательные силы и передают их на сужающиеся в поперечном сечении контрфорсы, последние получают через декоративные венчающие элементы в виде остроконечных колонн-фиал дополнительные временные нагрузки. Края фиал украшены орнаментом в виде почек растений, а их шпили увенчивают натуралистически трактованные характерные для готики завершающие детали — цветы и почки по аналогии со строением естественных "венчающих" элементов.

Этот короткий обзор имеющих важное значение структурных форм готики позволяет сделать следующее заключение исходя из принципов архитектурной бионики: каменные каркасные несущие структуры готики являются вершиной развития каменной несущей конструкции, которая прошла путь от доисторического меггира до каменных колонн египетских и от греческих храмов до монументальных римских сооружений и т.д.

В плане архитектурной бионики готический стиль отличают две особенности: первая — перенятая готикой у других стилей тенденция натуралистического или стилизованного воспроизведения растительных прототипов в архитектурных формах; вторая особенность, характерная именно для готики, по нашему мнению, выражается в реализации нового качества несущей конструкции в архитектурной форме.

Впервые в истории архитектуры в каменном сооружении определяющее значение получает не поверхность стен, а каркасная структура. Статически важным здесь является решение, позволяющее изменить направления нагрузок, и передать их через стрельчатые арки и арочные контрфорсы на колонны. В связи с этим в каменном зодчестве впервые наблюдается уменьшение архитектурных масс книзу (см. рис. 37, 38).

Несущие конструкции были реализованы в новом качестве. Подобно природным они гармонично слились в единую структуру с функцией.

Последующие наши соображения касаются проблем, связанных с научным исследованием конструктивных принципов, которые мы встречаем в природе.

Для дальнейшего развития строительной техники могут стать плодотворными интерпретация и использование конструктивных принципов и соответственно принципов роста природных форм.

Этот процесс имеет целью преодолеть там, где это целесообразно, различия, которые в нашем представлении существуют прежде всего между процессом роста растений и животных, с одной стороны, и процессом создания сооружений — с другой.

Из единства процесса роста и регенерации в животном и растительном мире вытекает идея единства процессов строительства, эксплуатации и реконструкции зданий. Какие следствия этого процессуального подхода к архитектурному сооружению?

В последние годы находит свое практическое применение идея строительства, удовлетворяющего требованиям расширения временного диапазона эксплуатации здания за счет их запрограммированной реконструкции. Причиной этого является то, что здания сейчас больше, чем прежде, подвержены моральному износу.

С точки зрения проблем, которые предстоит решить в этой области, интерес представляют прежде всего черты сходства и различия между строительными и естественными структурами и в первую очередь несущими природными структурами и несущими конструкциями зданий.

Чтобы эти черты сходства и различия можно было установить, проанализировать и оценить, предлагаем

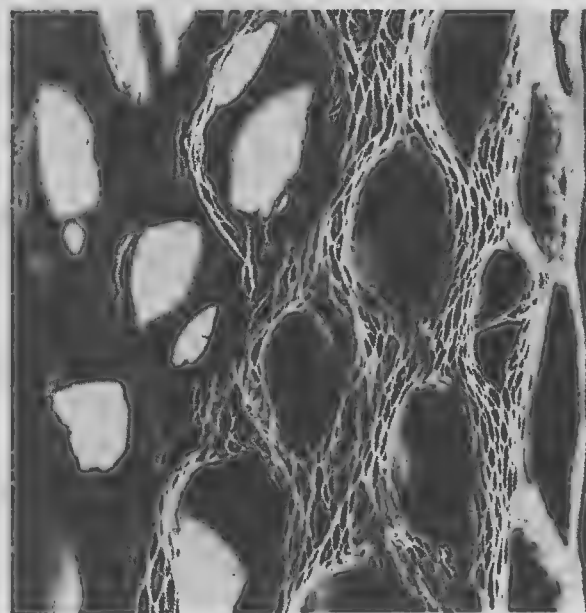


Рис. 38. Аналогия формы и способов облегчения конструкции каркасных структур природы и готики (фото А. Фейнингера)

В пустынях Аризоны и Техаса (США) произрастает колактус. Его филигранная каркасная структура может служить примером совершен-

ной несущей конструкции, которая обладает максимумом прочности при минимуме потраченного на нее материала. Аналогичную форму можно обнаружить в филигранной структуре Западного фасада Амьенского собора

рассматривать их исходя из следующих принципов (табл. 1, рис. 39—53):

Таблица 1

Тип конструкций	Природа	Строительная техника
1	2	3
Пространственные стержневые структуры	В органических структурах развиваются в принципе только устойчивые к изгибу соединения. Пространственное положение стержня и его толщина определяются динамикой сил	Длина и толщина в значительной мере типизированы по соображениям эффективности индустриальной обработки. Методы соединения стержней с узлами обнаруживают тенденцию к использованию простых шарниров (винтовых, гаечных). Повторяющиеся объемные формы (единицы упаковки) — пирамиды и тетраэдры — составляют основу пространственной стержневой геометрии, они обеспечивают эффективное распределение сил в пространстве. Предпочтительными являются индустриальные способы изготовления и монтажа. Предварительное напряжение арматуры соответствует динамике сил в железобетоне. Для элементов перекрытия или стен более эффективной является постоянная толщина скелетов (жест, пластики, железобетон). Предпочтительными индустриальными методами производятся и монтажи
Складки	Широкие консолеобразные листья построены по принципу складчатости (листья пальмы). Специфические функции и статические требования обуславливают форму, площадь поверхности и толщину листьев	Устойчивые к изгибу оболочкообразные пространственные структуры погашают нагрузки в основном посредством своей формы (однократно- и двукратно-изогнутые оболочки).
Пространственно-плоскостные структуры выпопниют в зависимости от особенностей их внутреннего несущего механизма и строения их плоскостей пространственно-образующую, пространственно-изолирующую и несущую функции	Устойчивые к изгибу структуры в форме оболочек или сфер служат для обеспечения специфических жизненных функций, защиты и нормального развития семян и плодов (раковины, орехи, панцири животных, капсулы, скорлупы). Гибкие, аналогичные мембранам плоские структуры могут в зависимости от внутренних (организм) или внешних (окружающая среда) нагрузок изменять свои размеры и форму (кожа, пузырчатые структуры)	Эксплуатационно-технологические требования определяют форму и размеры гибких, подобных мембранам пространственных структур. Стабилизация их формы может осуществляться: посредством предварительного напряжения в верхних и нижних точках (палатки); соединением с тросовыми структурами (тросовые системы); (спорткомплекс "Ийюги", Токио, архит. Кензо Танге, сетчатая конструкция Олимпийского стадиона в Мюнхене); избыточным давлением газа (пневматические несущие конструкции). Эффективное применение материалов достигается: сочетанием композитивных строительных материалов сжимающих и растягивающих напряжений в пределах одного поперечного сечения (сталь — растяжения, бетон — сжатие); применением принципа предварительного напряжения в цепях компенсации недостающих свойств материала (бетон — малая прочность при растяжении, большая усадка).
Поперечное сечение, соединения	Во взаимодействии механической ткани с внутриклеточным давлением активизируются внутренних опорный механизм растения аналогично принципу предварительного напряжения. Обеспечение жизненных функций организма достигается посредством интегрирования и многофункционального действия несущих элементов	Шарнирные соединения воспринимают воздействие только нормальных сил (сжатие и растяжение). Для упрощения расчета статических нагрузок шарниры рассматриваются как близкие к идеальным. Узловые соединения связывают главным образом тросовые, а также стержневые элементы в плоскости или в пространстве. Они могут быть выполнены и как подделки
Соединения	Шарнирные соединения обеспечивают специфические кинетические функции органов. В узловых соединениях стержнеобразных растительных структур происходит концентрация материала, в результате которой образуются уплотнения и сгустки. Эти соединения служат главным образом цели повышения прочности Соединения между стержнеобразными и плоскостными элементами растения реализуются как постепенные переходы между ними	Соединения между стержневыми и плоскостными элементами реализуются в основном посредством различных переходов: непрямых; включением дополнительных элементов для передачи нагрузки; усилением краев плоских элементов

Рис. 39. Сравнение форм природы (фото О. Бютнера)





Рис. 40. Стержневые структуры — примеры аналогии форм и функций естественного микро- и макромира и строительной техники

Стержневая структура скелета радиоларии при 2400-кратном увеличении. Ее функция еще не совсем выяснена (фото И.Х. Хельмке).

Поперечный разрез панциря скорпиона в увеличенном виде. Данный пример показывает, что в живом организме не существует строго геометрических пространственных форм. Так, нижняя и верхняя створки панциря усиливаются с помощью костных балочек (скоб) (фото А. Фейнингера).

Стержневое покрытие с пролетом 60x72 м и с собственной массой 210 т над стадион-катком в Галлен-Заале (ГДР), 1968 г. Объемная стержневая конструкция, разработанная отделением архитектуры Веймарского архитектурно-строительного института, поддерживается на опорах гидравлическими средствами

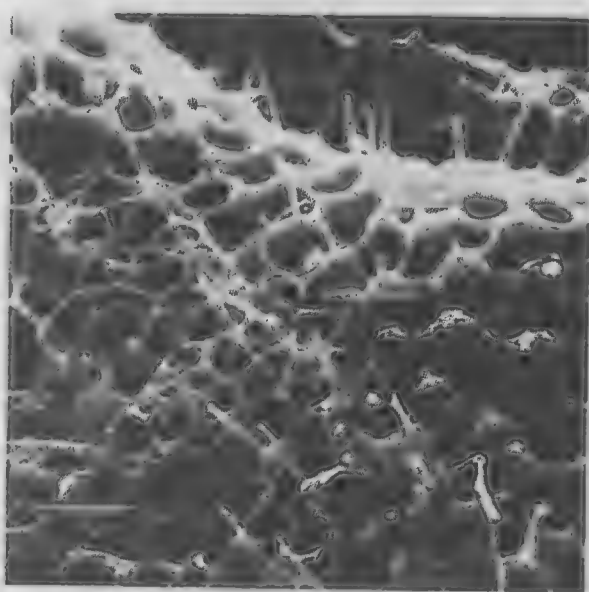
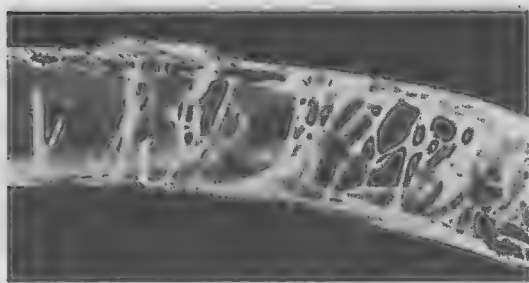


Рис. 41. Аналогия функции усиления краев ротационных стержневых структур в микро- и макромире

Гексагональная стержневая структура конусообразного скелета радиолярии со складчатыми кольцами жесткости при 1200-кратном увеличении (фото И.Х. Хельмке).

Геодезический купол из алюминиевых трубок с системой привязки Триодетик на кольцевом основании из железобетона (Канада)

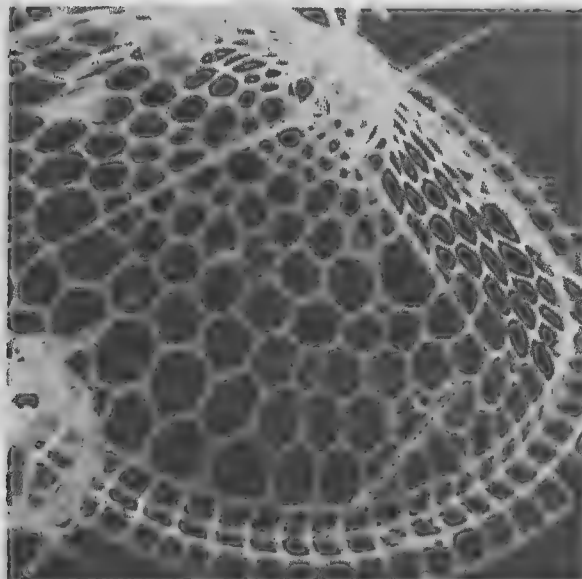


Рис. 42. Суставы — примеры аналогии функций в природе и строительной технике

Поперечное сечение тазобедренного сустава лошади (из А. Фейнингера).

Опора покрытия в машинном зале Всемирной выставки 1889 г. в Париже (немецкая фототека в Дрездене). Переход от мира природы к миру технических измерений, мы можем говорить об аналогии функций. Как и в тазобедренном суставе, нагрузка здесь рассматривается как статическая



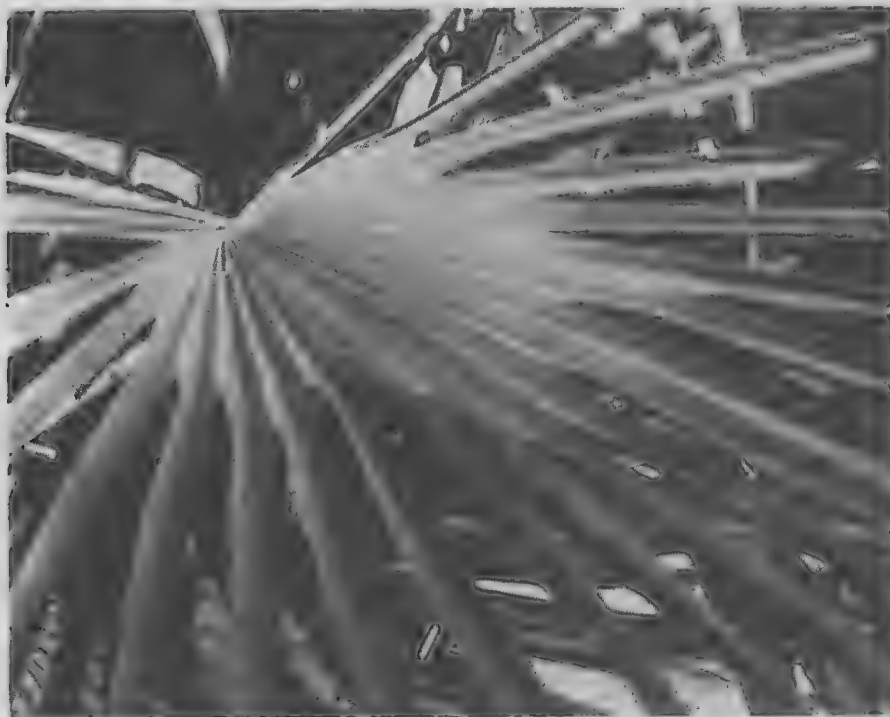


Рис. 43. Принцип складчатости в природе и технике (фото О. Бюттнера)

Лист веерной пальмы, выращенной в условиях Средней Европы, на разных стадиях его развития. Строение листьев многих отечественных и тропических растений характеризуется тем, что относительно большая часть их поверхности реализуется в форме складок. Расправленные листья веерной пальмы имеют размах до 10 м. Свертывание листа в трубку происходит в процессе его роста и не влияет на его прочность.

Складчатая конструкция крыши здания советской таможни на советско-финской границе. Архит. С.Б. Сперанский и коллектив, Ленинград. Благодаря применению вместо консольных балок складчатой конструкции в сочетании с горизонтальными кровельными плитами достигается не только большая устойчивость, но и создается

ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ



Рис. 45. Конструкции типа обочечек
Первая экспериментальная оболочка толщиной 1,5 см, перекрывающая квадрат со стороной 7,3 м. Инж. Дешингер, Германия, 1920-е гг. (архив "Диккерхоф и Видман")



Жилой дом (серийное строительство). Элиот Нойес, Валлац Нефф. 1953–1954 гг. Армоцементная оболочка выполнена с помощью пневматической опалубки, толщина оболочки 4,5–5,08 см

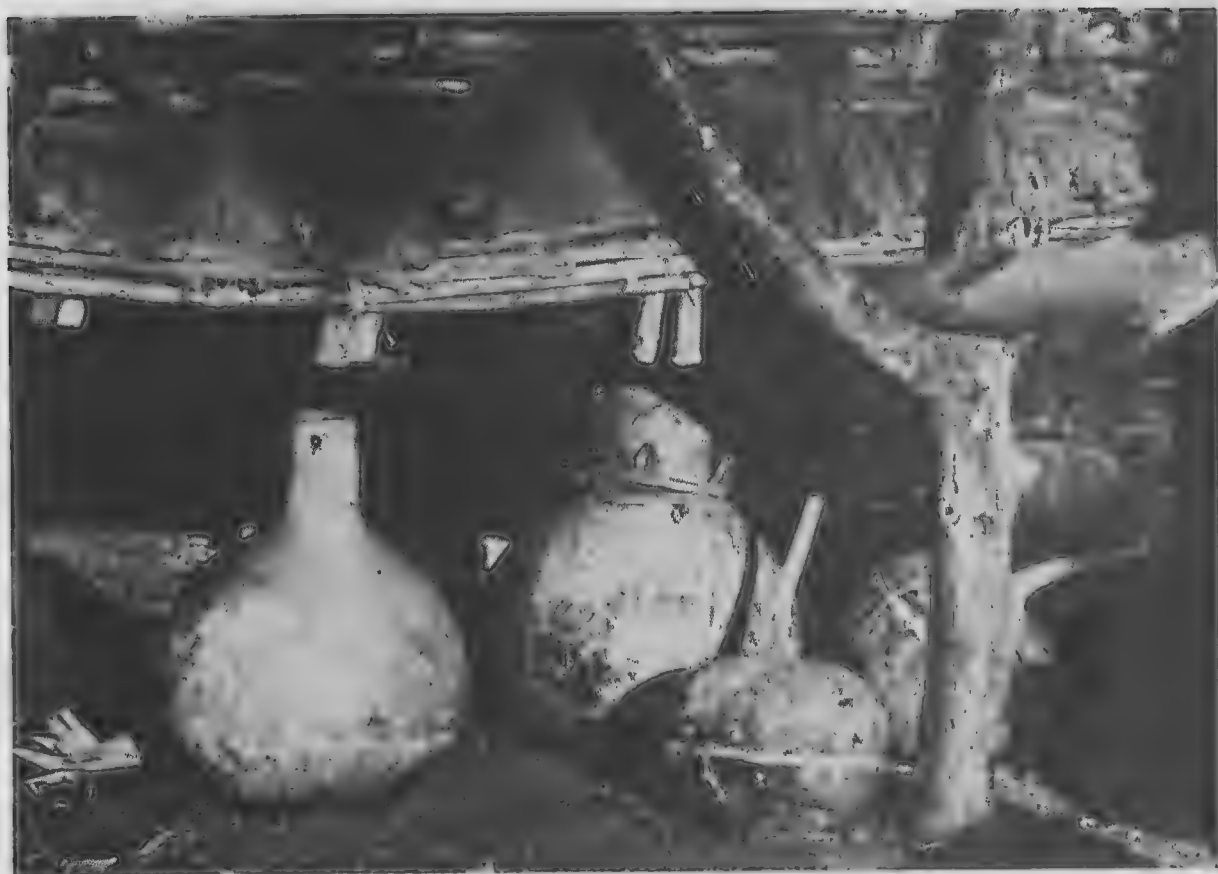




Рис. 44. Аналогия функции и формы емкостей для жидкости и "плодохранилищ". Естественные резервуары сферической формы, например кожура тыквы или дыни, с доисторических времен служили человеку в качестве идеальных переносных емкостей для хранения съестных припасов. Сферическая форма их кожуры явилась прототипом первых глиняных сосудов. Археологические находки показывают, что на Крите, в Передней Азии, Египте эти сосуда достигали внушительных размеров:

сосуды из тыквы (Танзания); в арбузах с удаленной сердцевинкой может храниться несколько литров жидкости (фото О. Бюттнера).

Сферический резервуар нефтехимического предприятия (архив репродукций, Е. Хампе).

Коробочка мака — естественный "высотный" резервуар высотой 1,5 м (фото О. Бюттнера); вид типичного перехода к стеблю — форма, напоминающая дорическую капитель; поперечное сечение коробочки, разделенной радиальными вертикальными перегородками на ряд резервуаров для семян.

Водонапорная башня объемом 1000 м³ в Рабате (Марокко)



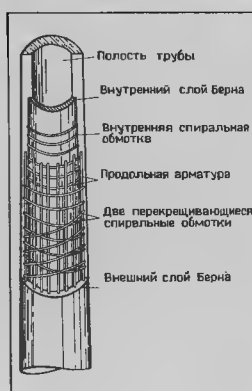
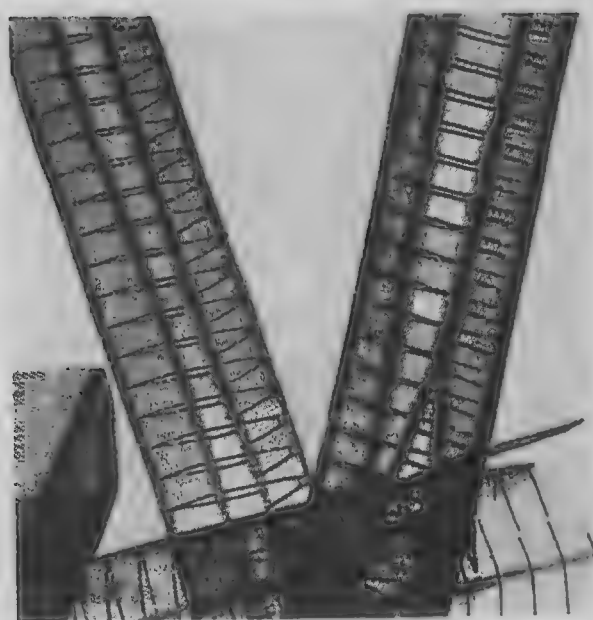
Рис. 46. Символ вертикали. Зал собраний во Вроцлаве, 1913 г. (Польша) (фото О. Бюттнера). Инж. М. Берг

Рис. 47. Винтовые элементы жесткости — примеры аналогии формы и функции в микро- и макромире

Микроструктура щетинок диатомовой водоросли с винтовыми элементами жесткости при 15 000-кратном увеличении (фото И.Х. Хельмке).

В области техники намечаются пути использования аналогии с микроструктурами в проектировании мачт, опор, силосных башен, телевизионных башен

Рис. 48. Типы конструкции спиральной арматуры для мачт и опор из центрифугированного бетона (репродукция из справочника "Хюте", т. Ш, Берлин, изд-во "В. Эрнст и сын", 1951, с. 564)



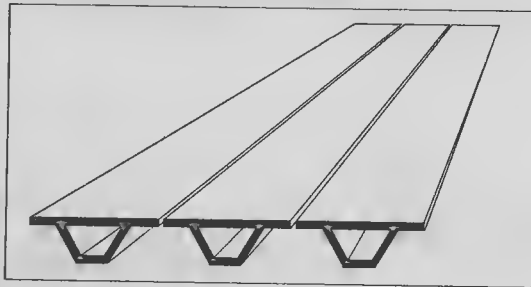
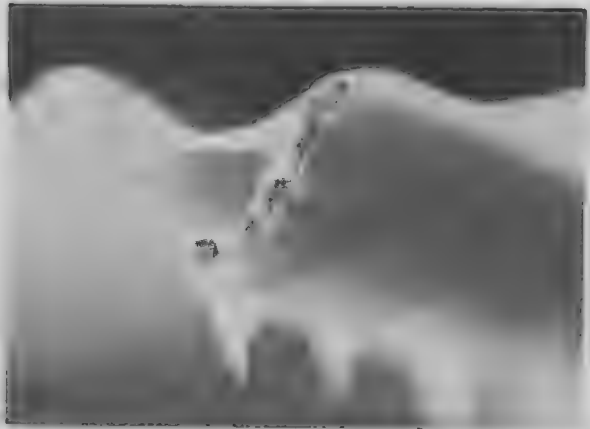


Рис. 49. Стержневые несущие конструкции — примеры облегченных конструкций в растительном мире (выделено).
 Ворсянка (из книги по ботанике Леонгарда Фуксе, 1543 г.). Достигает в высоту почти 2 м (репродукция из Б. Леане).
 Очень своеобразны листья ворсянки: их парные супротивные жилки, соединенные мембранами листа, образуют чашу, в которой при дожде собирается вода (фото О. Бюттнера).
 Как и стебель, жилки листьев ворсянки полые (фото О. Бюттнера): коробчатое поперечное сечение жилки листа ворсянки с растянутыми во-
 локнами — аналог железобетонной арматуры; трапециевидные поперечные сечения тавровых балок.
 Поперечное сечение жилки листа хрена — под влиянием нагрузки оно приобрело овальную форму. Хорошо видны растянутые волокна (фото О. Бюттнера)

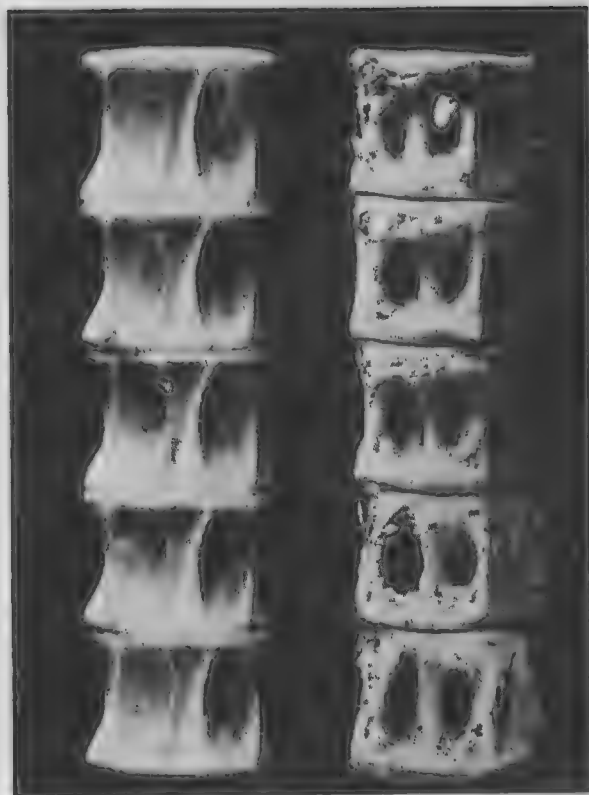


Рис. 50. Каркасные структуры — примеры аналогии формы и функций Кости позвоночника акулы (фото А. Фейнингера). Падающая Пизанская башня (немецкая фототека в Дрездене). Начало ее строительства относится к XII в. От-

клонение от вертикали в настоящее время 4,30 м. Здесь имеется аналогия формы и условная аналогия функции с позвоночниками

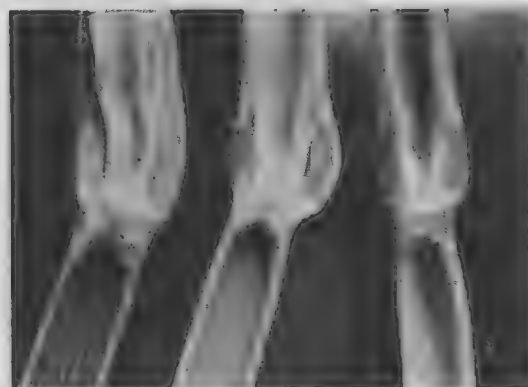


Рис. 51. Стебли злаков (фото О. Бюттнера)
Слева: нижняя часть стебля неходится в наклонном положении, но над узлом стебель снова выпрямлен и держится вертикально. Справа: стебель злака в нормальном вертикальном положении. В сечении отчетливо видны зо-

ны уплотнений на внутренней стороне узлов

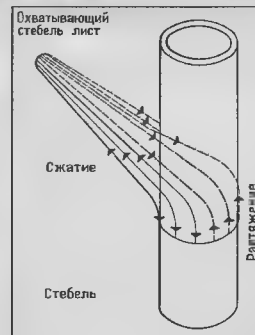


Рис. 52. Аналогия формы и принципов строения на примере растения из семейства зонтичных

В античном мире стебли растений семейства зонтичных средиземноморской флоры послужили прообразом каннелюр в античных колоннах (фото О. Бюттнера).

Продольный разрез полого стебля и участка прикрепления листа. "Оболочка" листа переходит в стержневую структуру стебля (фото О. Бюттнера).

Поперечное сечение узла с прилистником (слева). Поперечное сечение основания стебля (справа) (фото О. Бюттнера).

Схема несущего механизма — специфический эффект оболочки, разгруженной по линиям действия сжимающих и растягивающих напряжений (фото О. Бюттнера)

строительные сооружения, как растения и животные, состоят из частей, которые должны выполнять различные функции. Части, выполняющие функцию опоры, мы называем несущими конструкциями (рис. 53);

несущие конструкции искусственно построенных или естественных структур тоже состоят из отдельных элементов, которые могут быть соединены между собой разным образом и представлять линейные, плоскостные или объемные структуры;

качество несущей конструкции может быть определено по материальным затратам на осуществление необходимой в том или ином случае функции опоры. Эти же затраты определяются в основном качеством элементов несущей системы и способом их соединения, а также качеством строительного материала, из которого эти элементы состоят (рис. 54);

линейные или стержневые элементы несущей системы различаются с точки зрения их несущей способности по качеству, прежде всего в зависимости от жесткости их поперечного сечения (поперечного профиля) и от

кривизны их оси. Как в природе, так и в строительстве оптимальная жесткость линейных элементов несущей конструкции достигается посредством разгрузки поперечных сечений, перемещения материала на внешние стороны поперечного сечения и посредством сочетания материалов с разными свойствами. Дальнейшее улучшение несущей способности линейных элементов опорной конструкции может быть получено путем изгиба ее оси и изменения направления сил, с одной стороны, и путем уменьшения действия изгибающих напряжений — с другой (рис. 55);

формы поперечного сечения различаются в отношении их несущей способности также и в зависимости от преобладающей нагрузки (напряжения). Так, разгруженные поперечные профили (сечения) и попереч-

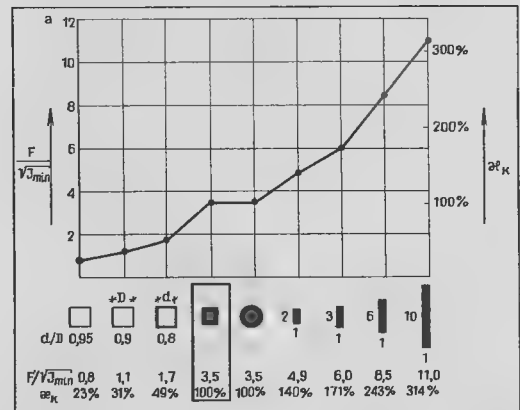
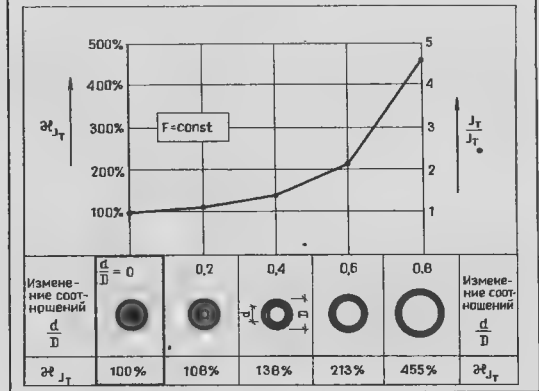
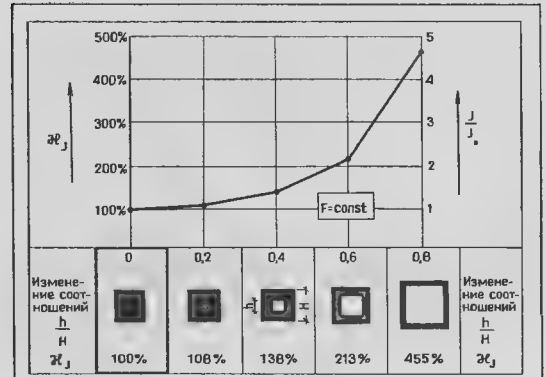
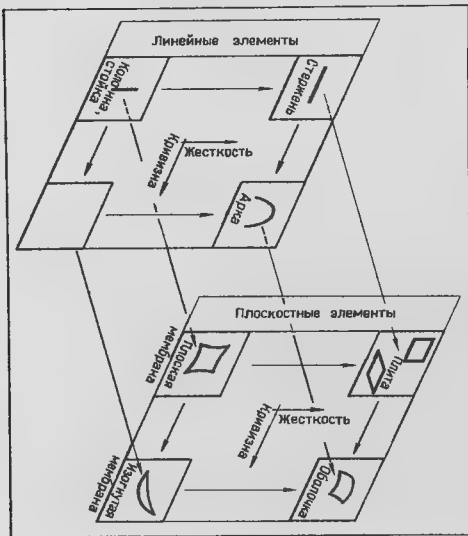
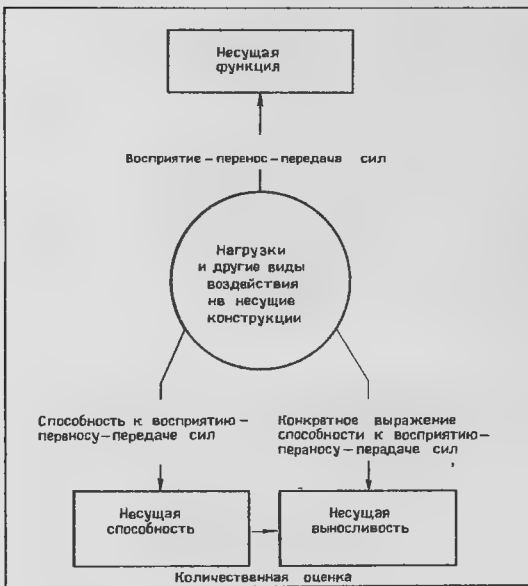


Рис. 53. Несущие структуры — черты сходства между естественной и архитектурной окружающей средой

Рис. 54. Влияние на несущую способность

Рис. 55. Примеры элементов несущей конструкции, различающихся по размерам, кривизне и жесткости

Рис. 56. Влияние изменения формы поперечного сечения при постоянной величине площади

а — для поперечных сечений, подвергающихся действию сжимающих напряжений; б — для поперечных сечений, подвергающихся действию изгибающих напряжений; в — для поперечных сечений, подвергающихся действию кручения

ные сечения с концентрацией материала по периферии колонны или стоек по отношению к изгибающим напряжениям ведут себя иначе, чем по отношению к сжимающим или скручивающим напряжениям (рис. 56);

часто встречающаяся в природе мобильная активизация частей несущей конструкции при наличии определенных воздействий (например, напряжение мускулов и т.д.) в строительных несущих конструкциях пока находит относительно небольшое применение. В противоположность этому в сфере строительства мы довольно часто сталкиваемся с принципами предварительного напряжения (предварительное включение напряжений, противостоящих предполагаемому нагрузкам).

В природе имеется бесчисленное множество поворотных механизмов. Например, отдельные кости скелета подвижно связаны между собой. При вращательном движении они описывают в некотором приближении дугу. В данном примере подвижный элемент (головка тазобедренного сустава) прочно сидит в суставной впадине и в то же время шарнирно соединен с ней при помощи связок таким образом, что обеспечивается восприятие этим соединением до определенных пиковых величин напряжений сжимающих, растягивающих и скручивающих. Кажущиеся нам такими сложными движения наших рук, всего нашего тела или движения крыльев птиц фактически складываются из движений множества подвижных членов;

несущая способность плоскостных несущих конструкций или их элементов определяется в основном способностью выдерживать растягивающие напряжения (мембраны) или сжимающие напряжения (оболочки), за счет кривизны формы (простые — цилиндрические оболочки, сферические оболочки и др.);

приспособление плоскостных несущих конструкций для осуществления требующихся функций в природе задано с самого начала. В строительной технике в последние годы наблюдаются случаи решения этой задачи путем осуществления дополнительных конструктивных мероприятий;

пространственные стержневые конструкции представляют собой комбинации линейных элементов, общее действие которых подобно действию плоскостных несущих конструкций. Аналогии между пространственными стержневыми конструкциями и, например, детальным строением костей были открыты сравнительно давно (Кульман и др.);

анalogии между строением диатомовых водорослей и пространственными стержневыми конструкциями распространяются прежде всего на их внешнюю форму, хотя в данном случае встречаются и некоторые общие для тех и других принципы, например концентрация элементов по краям конструкции или на участках концентрированного приложения сил;

заполняющие пространство структуры могут аналогично прототипам формироваться с минимальными затратами материала, если ставится задача создания упаковок в соответствии с принципами, действующими в природе. Так, объемные пенообразные структуры, упакованные из многогранников Кельвина, могут благодаря перегородкам обеспечить, с одной стороны, эффективное использование пространства, а с другой — оптимальную передачу и распределение действия сил в структуре.

Какое же значение все-таки имеет ознакомление с несущими структурами, существующими в природе? Служит ли оно для подтверждения правильности технических разработок и проектов? Или его можно использовать как инструмент контроля, позволяющий проверить эффективность определенных конструктивных решений? Стимулирует ли оно дальнейшее развитие? Является ли оно основой копирования естественных конструкций?

Эти и другие вопросы возникают перед каждым, кто занимается сравнительным исследованием несущих конструкций естественных и технических.

Прежде чем ответить на эти вопросы, мы должны констатировать ряд фактов:

многие прогрессивные решения, которые были открыты благодаря творческим способностям архитекторов и инженеров в области несущих конструкций за последнее столетие, независимо от каких-либо естественных прототипов часто представляют собой разработки, параллельные природным структурам;

различные принципы, которыми определяется в природе рост и образование форм, связаны с особенностями живых организмов и соответственно порождаются этими особенностями. Сюда относится многофункциональное использование всех частей живых организмов, а также тот факт, что в процессе роста организм изменяет свои размеры и несущую часть, но он не меняет, однако, своего качества.

Сюда относится и то, что органические части естественной окружающей среды, растения и животные имеют определенные размеры, свои порядки величин, которые зависят как от находящегося в распоряжении природы "строительного материала", так и от сложившихся в природе принципов строения несущих конструкций. Перенос в другие масштабы, в другие порядки величин невозможен из-за различия реакций, обусловленных силой тяжести и пределом прочности несущих конструкций;

некоторые принципы, которыми пользуется природа для решения своих задач, связанных с осуществлением функций опоры, порождаются прежде всего кинематическими условиями, которые должны реализоваться живыми движущимися организмами. Из-за преимущественно статического характера строительных сооружений неапробированный перенос таких принципов в область техники кажется нецелесообразным. С другой стороны, разработка строительных сооружений с подвижными частями (трансформируемые кровли) становится исходным пунктом устранения таких различий в плане кинематики между несущими конструкциями естественной и искусственно созданной среды;

несущие конструкции естественной среды должны удовлетворять в основном только тем условиям, которые имеют отношение к поддержанию существования, к функционированию и выживанию самого организма; строительные несущие конструкции должны удовлетворять потребности людей в защите, обеспечении их функционирования. Это приводит к значительным различиям в отношении требований, которые несущие конструкции искусственной среды по сравнению с конструкциями естественной среды должны выполнять с точки зрения их способности к преобразованию и соответственно с точки зрения пределов такой способности к преобразованию;

существование единства процессов роста, жизни и регенерации в природе может быть использовано для осуществления попытки достичь при создании строительных конструкций более тесного переплетения процесса строительства, функционального использования зданий и их реконструкции.

Исходя из вышесказанного, в вопросе о взаимодействии между природой и техникой в области несущих конструкций и возможности использования данных, относящихся к естественным структурам в технике, мы считаем возможным занять следующую позицию:

прототипы из мира природы следует внимательно анализировать и по возможности использовать во всех случаях, когда речь идет о реализации принципов облегченных конструкций и когда естественные несущие конструкции не обнаруживают большой разницы в положении покоя и в положении движения;

прототипы из мира природы могут эффективно использоваться (интерпретироваться) в технике в тех случаях, когда в природе и технике существуют сходные "технические" условия. На рис. 56 приведены некоторые результаты анализа естественных структур и изложены рекомендации в отношении их использования в технике.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ

Конструктивные системы организмов строятся по принципу экономии материала, энергии с одновременным обеспечением надежности. Эти характеристики, определяющие глобальные условия устойчивого существования и развития организмов живой природы, в настоящее время начинают использоваться инженерами и архитекторами как в отечественной (Н.Никитин, С. Вознесенский, В. Шульгин, Г. Гельферт и др.), так и в зарубежной строительной практике (П.Л. Нерви, Р. Ле Риколе, Ф. Отто и др.) [9].

Оптимизация конструкций в общем виде представляет собой многоэкстремальную задачу. Поиск глобального экстремума такой задачи затрудняется нелинейностью целевой функции и, особенно нелинейностью ограничений. Поэтому задача даже с несколькими десятками переменных может оказаться непосильной для мощных вычислительных машин.

В то же время принципы бионического конструирования, в частности, траекторийного строения решеток конструкций, накопления упругой энергии в конструкциях (резильянс), плотной упаковки покрытий, гетерогенного размещения слоев материала в конструкциях и т.д., отражают закономерность развития конструктивных систем во времени, исчисляемом миллионами лет эволюции.

Это позволяет видеть, в каком направлении следует искать оптимальные конструктивные системы, минуя ненужный поиск или перебор вариантов с использованием ЭВМ, экономя при этом время и средства.

Процесс оптимизации в технике и живой природе. При проектировании инженерных конструкций проектировщик сталкивается с такими требованиями, как эффективность, надежность, долговечность, технологичность, а также с требованиями, связанными с выбором ресурсов материалов и промышленными возможностями. Эти требования противоречат друг другу, а потому при проектировании конструкций необходимо учитывать каждое из них. Так, самая надежная конструктивная система может оказаться неэкономичной и самая экономичная — ненадежной. Как видно, оценить влияние одним показателем невозможно. Оптимизация технических систем состоит в том, чтобы найти такую конструктивную систему, которая, обеспечивая достаточно большую надежность, требовала бы минимум затрат, т.е. найти компромиссное решение [16].

Задачи, в которых число функций равно числу критериев и которые надо оптимизировать, относятся к классу задач векторной оптимизации [17]. Реализация этих задач в настоящее время сопряжена с большими математическими и вычислительными трудностями [18].

Одним из определяющих показателей качества оптимальных конструктивных систем (плиты, оболочки, купола и т.д.) является минимум массы. В этом направлении ведутся большие экспериментально-теоретические исследования [19, 20]. Критерий минимума массы позволяет не только установить оптимальное количество материала, необходимого для изготовления конструкций, снизить вес, но и оценить, насколько близки или далеки от оптимальных по массе систем традиционные конструкции, применяемые в строительстве.

Однако и задачи оптимизации конструктивных систем по массе, особенно при многих нагружениях, в силу их многоэкстремального характера и значительного числа параметров относятся к сложным, большим задачам нелинейного программирования. Поиск глобального экстремума затрудняется нелинейностью, невыпуклостью рассматриваемых задач. Кроме того, с ростом размерности задач возникают сложности, вызванные заполненностью, обусловленностью, обращением слабозаполненных матриц, с которыми приходится иметь дело в задачах оптимизации [21, 22]. Все это отрицательно сказывается на возможностях реализации, результатах вычислений, на времени счета стержневых систем.

У живой природы возможности в плане оптимизации конструкций несравненно шире. Она находит оптимальные формы через вариабельность и селекцию [23]. При этом естественном отборе из большого количества различных конструктивных вариантов организмов остаются только те, которые выдержали борьбу за существование и отвечают сложившимся условиям. Оптимизация биологических форм и структур возможна только тогда, когда при неизменных условиях в окружающей среде развитие их совершается достаточно медленно. В противном случае оптимизация невозможна.

Биологические формы и структуры отличаются от технических тем, что при функционировании они не изнашиваются, а наоборот, непрерывно восстанавливаются и поддерживаются, другими словами, функционирование системы является для них условием существования. Достаточно изменить граничные условия или направление и величину силовых воздействий, как биосистема в буквальном смысле слова начинает перестраиваться, а именно происходит перераспределение материала, синтез структур, рождение новых форм.

Как показали исследования [12–17], формирование биоструктур происходит в соответствии с размещением их элементов по линиям силовых полей. Элементы, расположенные на этих линиях, получают раздражения от внешних силовых воздействий и поэтому развиваются. Элементы, находящиеся вне силовых линий, раздражений не получают и в результате приостанавливаются в росте и в развитии.

Энергетический подход к оптимизации упругих стержневых конструкций. Живые организмы, так же как и конструкции, созданные человеком, подвержены гравитационным, атмосферным или гидродинамическим воздействиям. В соответствии с условиями существования они обладают достаточно прочными, жесткими и устойчивыми конструкциями, чтобы противостоять этим воздействиям. При этом конструкции живых организмов обладают не только минимальной массой, но и способностью запасать большую упругую энергию деформации на единицу объема (массы) при действии нагрузки. Свойство конструкции максимально поглощать упругую энергию деформации без разрушения носит название резильяенса. Однако конструкции, спроектированные с использованием этого принципа, могут оказаться слишком мягкими для выполнения своих функций. Это ограничивает величину резильяенса, которым проектировщики могли бы снабдить конструкции. Поэтому в конструкциях с использованием резильяенса необходимо также учитывать прочность и жесткость, т.е. искать компромиссное решение. В этом случае можно использовать энергетический подход к задачам оптимизации упругих стержневых конструкций и метод их решения [14, 26, 27].

Как известно, устойчивое равновесное состояние стержневых конструкций при действии заданных внешних нагрузок определяется минимальным значением потенциальной энергии [28]. Минимальное значение

потенциальной энергии упругих шарнирно-стержневых систем может определять оптимальные по теоретической массе конструкции [29]. Эта идентичность характеризует энергетический смысл задачи оптимизации [30]. Однако это условие выполняется лишь при одинаковых значениях модулей упругости и критических напряжений для элементов стержневых систем. Однако возможны случаи, когда конструкция с минимальным значением энергии далека от конструкций с минимальным значением теоретической массы.

Чтобы сохранить энергетический смысл задачи оптимизации в общем случае и получить необходимые параметры массы, резильенса упругих стержневых конструкций при заданных условиях жесткости достаточно использовать при постановке задач энергетические экстремальные принципы с фиксированием значений теоретической массы.

Задача 1. При действии на упругую стержневую систему произвольной внешней нагрузки, согласно энергетическому экстремальному принципу в статической формулировке, из всех статически возможных состояний в ней устанавливается то, при котором потенциальная энергия деформаций принимает минимальное значение. Тогда для m раз статически неопределимой шарнирно-стержневой системы с фиксированным значением массы, в которой имеется n расчетных сечений, в соответствии с приведенным экстремальным принципом можно записать данную задачу: Найти $\min \frac{1}{2} (F^T, F) \in d^*$ — потенциальная энергия деформаций (1) при условиях $(\chi, F) \in d^*$ — теоретическая масса (2), $A \chi = P$ — условия равновесия (3), $G^{(i)} F + \chi_i \leq 0$ — условия прочности и устойчивости (4), $G^{(i)} F - \chi_i \leq 0$ — условия неотрицательности (5). Здесь χ — искомый n -мерный вектор усилий; F — искомый n -мерный вектор площадей сечения элементов; P — заданный $(n-m)$ -мерный вектор внешних нагрузок; $G^{(i)}$ — заданные n -мерные векторы предельных напряжений в сечениях, соответственно на растяжение и сжатие; l — заданный n -мерный вектор длин элементов; d^* — фиксированное значение теоретической массы стержневой системы; A — заданная $(n-m) \times n$ -мерная матрица равновесия; G — объемный вес материала; $i = 1, 2, \dots, k$ — число загрузжений.

Задача 2. В стержневой системе, подверженной внешним воздействиям, согласно энергетическому экстремальному принципу в кинематической формулировке, из всех кинематически возможных состояний устанавливается то состояние, при котором потенциальная энергия принимает минимальное значение.

В соответствии с этой формулировкой, задача оптимизации шарнирно-стержневой системы при работе в упругой стадии может быть записана в следующем виде.

Найти $\min \sum_{i=1}^k \left[\frac{1}{2} (C \Delta l_i^2) - (P_i, R_i) \right]$ — потенциальная энергия при условиях $l^2 \frac{C}{E} \leq d^*$ — теоретическая масса (5)

$\Delta l_i - A^T R_i = 0$ — условия совместности деформаций; (7)

$R_i \leq G^{(i)} l$ — условия жесткости; (9)

$\Delta l_i^{(+)} - G^{(+)} \frac{l}{E} \leq 0$ — условия прочности и устойчивости; (10)

$C \geq 0, E \geq 0$ — условия неотрицательности. (11)

Здесь $C = EF/l$ — искомый n -мерный вектор жесткости элементов; Δl — искомый n -мерный вектор продольных деформаций элементов; R — искомый $(n-m)$ -мерный вектор перемещений узлов стержневой системы; $G^{(i)}$ — заданные $(n-m)$ -мерные векторы допустимых значений перемещений узлов стержневой системы.

Математические модели (1–5) и (6–11) представляют собой задачи оптимизации стержневых систем при работе в упругой стадии.

Для этих задач характерно то, что оптимальные значения теоретической массы определяются итеративно. Используется метод поиска глобального экстремума, предложенный в работе [22]. Для этого сначала фиксируется значение массы d^* являющейся переменной величиной, и при заданных внешних нагрузках определяются соответствующие параметры шарнирно-стержневой системы, т.е. решаются задачи (2.1)–(2.11). Если решение существует, то d^* следует уменьшить, если не существует — увеличить. Решив ряд таких задач, можно получить последовательность значений теоретической массы и упругой энергии деформаций. В соответствии с допустимыми значениями перемещений по возможности выбираются минимальное значение массы и максимальное значение упругой энергии, т.е. принимается компромиссное решение.

Бионические принципы оптимизации. В основе строения живых конструкций, как и искусственных, лежит оптимизация различного характера. В одних случаях осуществляется оптимизация универсальных конструкций, т.е. таких, которые удовлетворяли бы всевозможным силовым воздействиям. В других случаях при построении оптимальных структур предпочтение отдается одному из преобладающих силовых воздействий. Встречаются и такие случаи, когда каждое силовое воздействие воспринимается соответствующей структурой конструкции, например ферма Митчелла в головке бедренной кости человека (рис. 57, 58). Однако в основе этой оптимизации лежит минимизация массы, так как она непосредственно определяет энергетические затраты, связанные с постоянным ее обновлением.

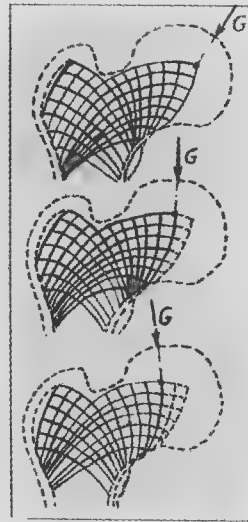
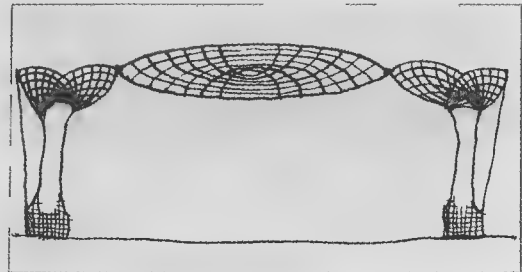


Рис. 58. Ремная конструкция, набираемая из ферм Митчелла (инж. В.Г. Темнов)

Рис. 57. Траекториальная структура (ферма Митчелла, образованная на основе материализации силовых линий в бедренной кости человека)



Принцип траекториального строения решеток конструкций. Численные методы оптимизации конструкций охватывают множество допустимых решений, в силу чего возникают трудности с реализацией задач, особенно для конструкций со сложной структурой и конфигурацией. В то же время структуры живых организмов образно представляют собой материализацию силовых линий, а потому, используя эту закономерность, можно значительно сузить область поиска вариантов (рис. 59–62). Этот принцип хорошо раскрыт итальянским инженером П.Л. Нерви в 1940–1950-х гг. и другими учеными [5, 12, 24, 25]. Придание структурам упорядоченности (ориентация элементов вдоль силовых линий) повышает прочностные и жесткостные свойства при мини-

маленьком объеме материала, идущего на их создание. При таком построении прочностные свойства клеток механических тканей используются самым рациональным образом. Закон траекториального построения структур и конфигураций распространяется на все конструкции опорных систем живых организмов, подверженных механическим воздействиям [9, 13].

Этот закон следует принимать во внимание при поиске оптимальных конструктивных систем. Частично суть этого закона уже используется в способах повышения прочности конструкционных материалов. Одним из распространенных способов повышения прочности является придание структуре материала упорядоченности [33].

Другой способ состоит в армировании материала упрочняющими элементами. Например, композиты, в которых армирующие компоненты обладают более высокими прочностными и жесткостными характеристиками по сравнению со связующими (матрицами). Направленность и армирование упрочняющими элементами — в принципе две стороны одной и той же идеи — рационального использования прочностных свойств материала. Она позволяет максимально использовать лучшие механические свойства и минимально — худшие.

Построение структур и конфигураций конструктивных систем с учетом механических свойств материалов и траекторий силовых линий, возникающих при воздействии внешних нагрузок, еще находится на стадии развития. По-видимому, основной причиной является то, что проектировщиками траекториальные системы (рис. 63, 64) понимаются как довольно отвлеченные от реальных условий образования и представляют чисто теоретический интерес, а не закон естественного развития структур и конфигураций конструкций. Кроме того, требуют развития общие методы построения траекторий силовых линий и необходимы новые технологические приемы для изготовления подобных конструктивных систем.

Математические и экспериментальные модели траекториальных структур. Конфигурация траекториальных структур определяется линиями деформаций поля перемещений u, v с постоянными деформациями $\epsilon = G/E$. В свою очередь, траектории деформаций зависят от вида нагружения и кинематических граничных условий. Если известны при заданных нагрузках перемещения точек тела, то по известным формулам теории упругости можно всегда найти компоненты деформации:

$$\epsilon_x = \frac{du}{dx}; \epsilon_y = \frac{dv}{dy}; \gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{dv}{dx} + \frac{du}{dy} \right) \quad (1)$$

и среднее вращение

$$\Omega = \frac{1}{2} \left(\frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy} \right) \quad (2)$$

или

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= -\epsilon_0 \cos 2\theta; \epsilon_y = \epsilon_0 \cos 2\theta; \\ \gamma &= -\epsilon_0 \sin 2\theta, \end{aligned} \quad (3)$$

где θ — угол между отрицательным направлением оси ординат и положительным направлением вдоль линии, испытывающей однородное растяжение ϵ_0 .

Если провести соответствующие преобразования уравнений (1)–(3) и исключить u и v с помощью перекрестного дифференцирования, то получается система нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dw}{dx} + \frac{d\theta}{dx} \cos 2\theta + \frac{d\theta}{dy} \sin 2\theta &= 0; \\ \frac{dw}{dy} + \frac{d\theta}{dx} \sin 2\theta - \frac{d\theta}{dy} \cos 2\theta &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где

$$w = \frac{\Omega}{\epsilon_0}.$$

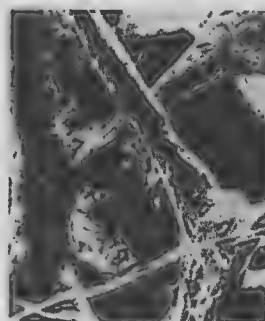
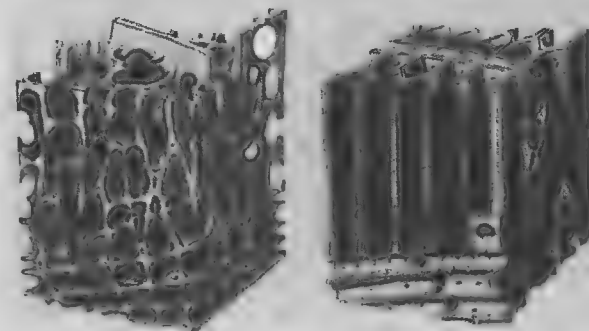
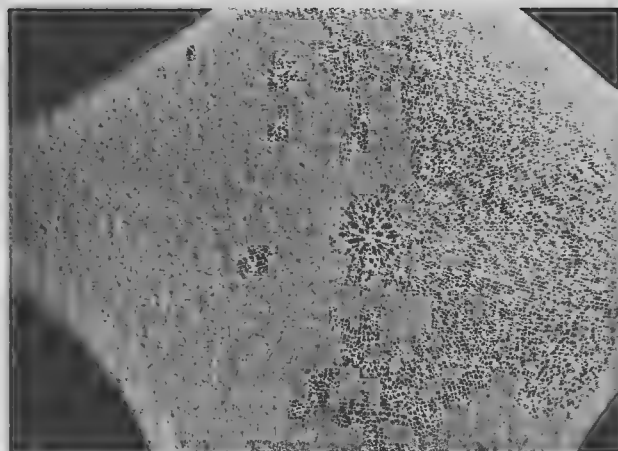
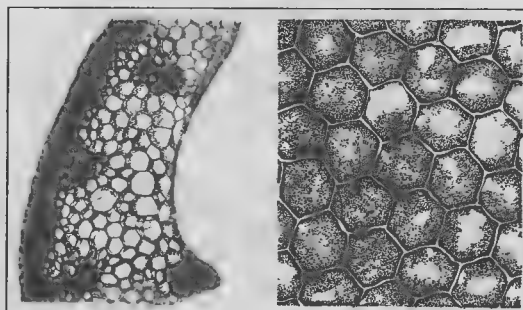


Рис. 59. Поперечный разрез позвонке кита (траекториальная структура, образованная на основе материализации силовых линий)

Рис. 60. Структура тканей: кость, сосна

Рис. 61. Спонгиозная костная ткань головки бедренной кости человека

Рис. 62. Трубочатый стебель травы (соломинке ячменя) — сотовый "сэндвич"



Эта система уравнений гиперболического типа. В случае совпадения координатных осей S_1 и S_2 с направлениями касательных к линиям деформаций ϵ_0 , дифферен-

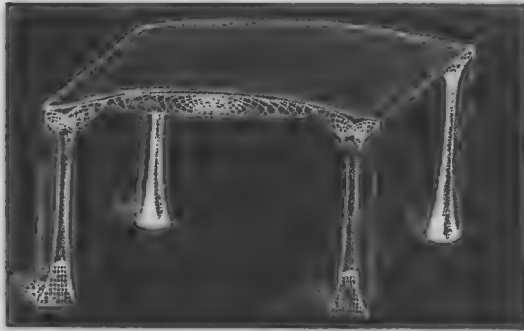
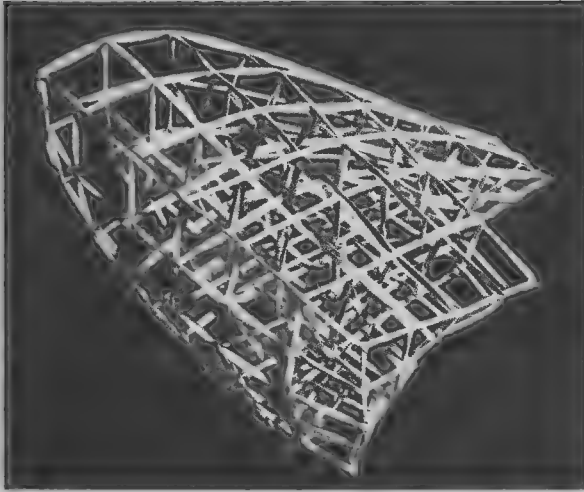


Рис. 63. Модель пространственной траекториальной структуры (инж. В.Г. Темнов, архит. А.Д. Ярмопенко)

Рис. 64. Конструкция покрытия, спроектированная на основе принципа образования траекториальных структур (инж. В.Г. Темнов)

Рис. 65. Общий вид промышленного образца "пергола-навес" (инженеры В.Г. Темнов, Е.Н. Митрофанов, архит. А.Н. Радеев)

циальные уравнения (4) принимают более простую форму:

$$d/ds_{\alpha} (w - \theta) = Q; \quad d/ds_{\beta} (w + \theta) = 0, \quad (5)$$

где $d/ds_{\alpha}, d/ds_{\beta}$ — производные вдоль траекториальных линий. Уравнения (5) предусматривают дифференцирование в некотором единственном направлении, поэтому линии

деформации являются характеристиками гиперболической системы уравнений, т.е. характеристические линии совпадают с линиями деформаций.

Существуют два различных вещественных семейства характеристических (траекториальных) линий α и β , которые покрывают рассматриваемую область ортогональной сеткой. С одной стороны, она является искомой, а с другой — естественной криволинейной координатной сеткой определяемой структуры.

Вдоль траекториальных линий напряжения σ изменяются пропорционально углу θ . И при переходе от одной траекториальной линии семейств β (или α) к другой вдоль любой линии семейства α (или β) θ и σ будут меняться соответственно на одну и ту же величину [34].

Если известно значение напряжения σ в какой-либо точке заданной сетки линий напряжений, то оно может быть вычислено в любой точке поля. В случае прямолинейности траекториальных линий напряжения от приложенных нагрузок постоянны.

При простом напряженном состоянии траекториальная структура представляет собой сетку, в которой одно семейство прямых пересекается ортогональными к ним криволинейными линиями другого семейства.

Центрированная структура, являющаяся разновидностью предыдущей, образуется пучком прямых одного семейства, сходящихся в одной точке, и концентрическими окружностями другого семейства.

При загрузке круговой части контура реализуется осесимметричное поле напряжений. В этом случае структура представляет собой сетку из пересекающихся логарифмических спиралей (рис. 65):

$$\varphi - \ln \frac{r}{a} = \beta; \quad \varphi + \ln \frac{r}{a} = \alpha, \quad (6)$$

где r, φ — полярные координаты; a — радиус опоры.

Траектории структуры для случая пространственного напряженного состояния строятся аналогично плоскому (см. рис. 63). Решение уравнения (5) связано с вычислительными трудностями, поэтому чисто теоретический путь не всегда возможен, особенно при сложных конфигурациях конструкций.

Учитывая тот факт, что траектории деформации зависят от вида загрузок и типа закреплений конструкций, но не от физико-механических свойств материала, и что от последних зависят лишь величины напряжений (деформаций), можно получить траекториальные структуры экспериментальным путем. В этом случае большую помощь могут оказать экспериментальные методы исследований деформаций и напряжений на моделях, такие, как оптический метод, метод хрупких покрытий, метод муаровых полос. Эти методы позволяют наглядно получать картину силовых линий, в частности траекторий напряжений, на всей поверхности исследуемой модели. Они позволяют определить закон построения линий деформаций, а следовательно, траекториальную структуру, присущую рассматриваемому типу конструкций при заданном нагружении. Картина траекторий деформаций дает возможность рационально проектировать не только конструкции, но и конструировать материал. Максимальная прочность и жесткость достигается тогда, когда волокна в материале или стержни в конструкции ориентированы по направлению линий деформаций.

Следовательно, технико-экономическая эффективность конструктивных систем зависит от согласованности механических свойств материалов с требуемой для данной конструкции траекториальной структурой. Поэтому проектировщику необходимо знать, как меняется деформативность и прочность материалов, из которых изготавливается конструкция, в зависимости от изменения направления усилий, и иметь картину траек-

ториальных линий деформаций, чтобы по ней можно было создавать оптимальную по массе конструкцию. Эти же вопросы должны интересовать и технологов, поскольку процесс создания материалов и изготовления конструкций — единый процесс. Таким образом, оптимальное проектирование по массе структур конструктивных систем можно свести к двум этапам:

определять конфигурацию структуры экспериментальным путем;

с помощью методов математического программирования находить оптимальные размеры ячеек, сечений элементов (стержней). Такой подход позволяет значительно уменьшить область допустимых решений, из числа которых находится искомое оптимальное решение.

Анализ статической работы конструкций с траекториальной структурой типа турнесоль. Одной из характерных сторон траекториальных структур живой природы, как было уже отмечено, является соответствие размещения их элементов силовому полю. Это обеспечивает значительную несущую способность конструкции при минимальных затратах материала и позволяет компактно формировать конструктивное пространство. С этой точки зрения, например, в строении цветка подсолнуха (турнесоль) особый интерес представляет композиция его наружных слоев, геометрия решеток которых совершенно не похожа друг на друга. Зарождение наружных слоев с различным рисунком решеток вызвано не только их функциональным назначением, но и различной статической работой. Слой, состоящий из стержней, образующих радиально-кольцевую сетку, работает на сжатие, а слой, состоящий из стержней, образующих спиралевидную сетку, — на растяжение. В основе такого синтеза также лежит оптимизация биологических систем.

Принцип разделения статической работы слоев в цветке подсолнуха был использован при конструировании двухслойного безраспорного покрытия (рис. 66, 67). Покрытие, опертное по контуру, включает верхний (сжатый) и нижний (растянутый) слои, которые соединены между собой по внешнему контуру непосредственно, а в центре — через напрягающие распорки. Верхний (сжатый) слой выполнен из связанных между собой стержней, образующих радиально-кольцевую сетку. Стержни могут быть выполнены из профильного металла и металлических лент, объединенных в секции, образующие конструкцию верхнего слоя (рис. 68). Нижний (растянутый) слой выполнен из связанных между собой дугообразных элементов; например стержней, тросов, лент (рис. 69) и т.д. Эти элементы, расположенные по диагоналям относительно радиально-кольцевой сетки верхнего слоя, образуют спиралевидную сетку с неравномерными ромбическими ячейками, прикрепленную к центральному кольцу. Распорки установлены в шахматном порядке в узлах пересечения стержней радиально-кольцевой сетки и прикреплены к нижнему слою в узлах пересечения дугообразных стержней (рис. 70). При работе конструкции растягивающие усилия воспринимаются дугообразными элементами нижнего слоя, распределение которого по пересекающимся в плане спиральям обеспечивает равные напряжения во всех элементах спиралевидной сетки. Это позволяет применить элементы одинакового сечения. Сжимающие усилия от нагрузок на покрытие воспринимаются стержнями верхнего слоя, расположенными по радиально-кольцевой сетке, что соответствует направлению максимальных напряжений силового поля покрытия.

Статический расчет конструкций типа турнесоль, выполненный методом перемещений по машинной программе "Рассудок", показал, что траекториальные структуры этого типа работают как пространственные кон-

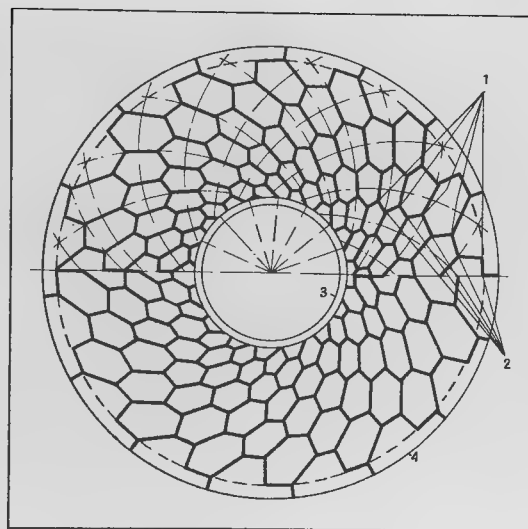


Рис. 67. Конструкция покрытия с сотовой траекториальной структурой.
Инж. В.Г. Темнов

струкции. Распределение усилий в пределах слоев носит довольно равномерный характер, что и объясняется геометрией решеток, полученных в результате расположения элементов по радиально-кольцевой и спиральным сеткам соответственно. Обнаруженная особенность дает возможность путем варьирования местоположения узлов решеток покрытия без изменения поперечного сечения стержней (один типоразмер элемента) получать равнонапряженные системы, т.е. системы с оптимальным распределением материала.

Из этого можно сделать вывод, что конструкция двухслойного безраспорного покрытия, созданная на основе использования принципа разделения статической работы слоев в цветке подсолнуха, при малой материалоемкости обладает достаточной несущей способностью.

Принцип накопления упругой энергии. Эффективность конструктивных систем живых организмов биологи оценивают отношением веса скелета к весу тела. Это позволяет им установить влияние сил гравитации на формирование структур живых организмов, находящихся в различных средах. Воздействию тех же сил гравитации подвержены искусственные конструктивные системы, поэтому эффективность их по аналогии с конструкциями живых систем можно оценить отношением

$$\Phi = P/G, \quad (7)$$

где P — предельная нагрузка, выдерживаемая конструкцией (кгс); G — вес конструкции (кгс).

Такой критерий оценки конструкции позволяет наглядно видеть скрытые ее возможности и оценить эффективность для восприятия нагрузок. Из формулы (7) также следует, что эффективность можно повысить либо за счет увеличения нагрузки P либо за счет уменьшения веса G , либо одновременным увеличением нагрузки P и уменьшением веса G .

Уменьшить вес можно за счет оптимизации структуры конструктивной системы. Примером рационального построения структур служат животные, о чем говорят процентные отношения веса скелета к весу тела: рыбы — 7–8; амфибии — 10–12; рептилии — 13–15; птицы — 13–16; человек — 16–18.

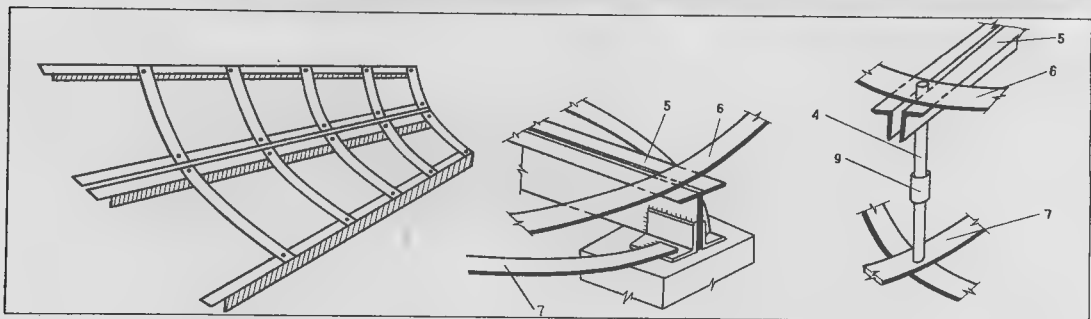
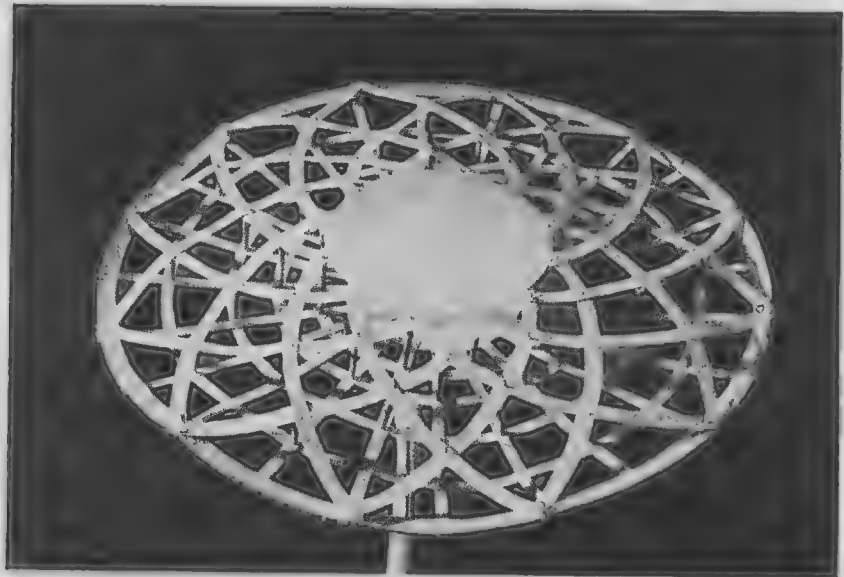
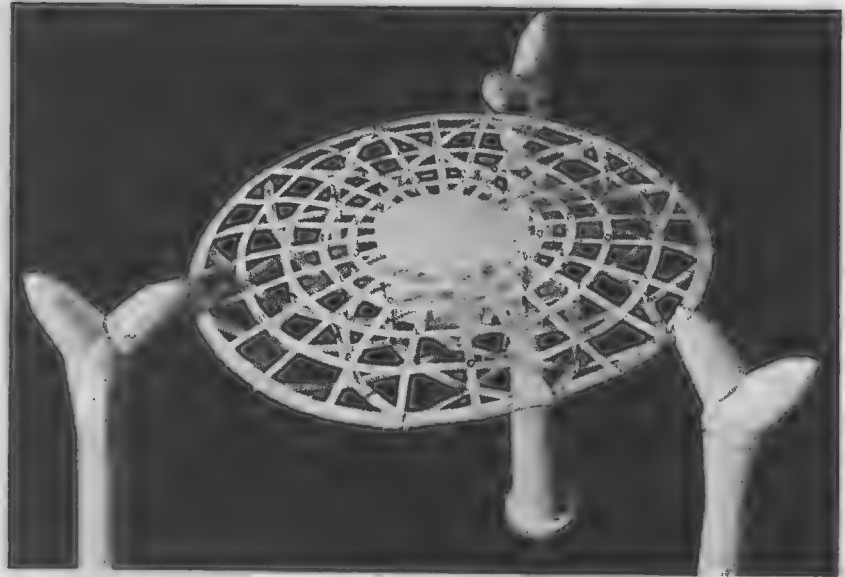
С увеличением силы P или уменьшением веса G в конструкции будет расти упругая энергия деформации.

Рис. 65. Конструкция Турнесоли (чичевицеобразная плита с траекторией структурой). Инж. В.Г. Темнов
 а — плита на трех опорах (верхний пояс сжатый, а нижний растянутый); б — плита на центральной стойке (верхний пояс растянутый, а нижний сжатый)

Рис. 58. Секции, образующие радиально-кольцевую сетку сжатого слоя конструкции "Турнесоли"

Рис. 69. Опорное узловое соединение сжатого и растянутого слоев конструкции "Турнесоли"

Рис. 70. Промежуточные узловые соединения сжатого и растянутого слоев конструкции "Турнесоли"



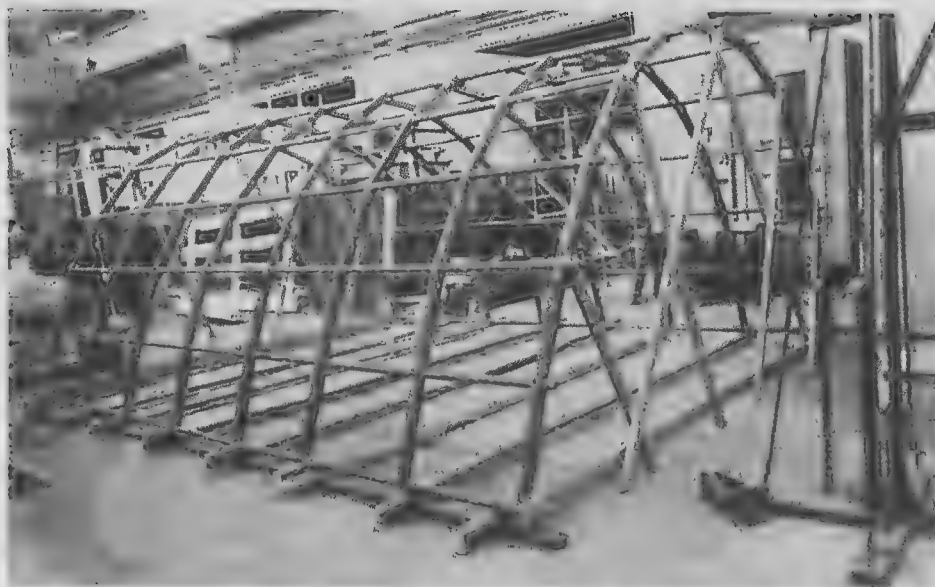
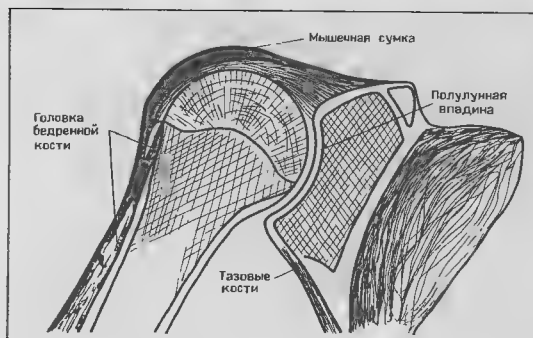


Рис. 71. Общий вид каркаса упругогибкого покрытия. Авторы конструкции: инженеры В.Г. Темнов, Е.Н. Митрофанов, архит. Ю.С. Лебедев

Рис. 72. Плечевой сустав человека (articulatio humeri)

Рис. 73. Каркас упругогибкого покрытия на плоскости

Рис. 74. Варианты форм трансформируемого из плоскости каркаса упругогибкого покрытия



Свойство конструкций накапливать возможно большее количество упругой энергии деформации повышает их несущую способность. Такой конструкцией и является предложенное в 1980 г. инженерами В.Г. Темновым, Е.Н. Митрофановым и архит. Лебедевым "Сборное покрытие". Сборное покрытие представляет собой конструкцию, несущими элементами которой служат отдельные трехслойные арки. Наружные слои — гибкие, из материала с низким модулем упругости, но высоким пределом прочности на растяжение (например, из конвейерных лент), а внутренний слой — жесткий из материала (например, из дерева) с более высоким модулем упругости и меньшим пределом прочности по сравнению с материалом наружных слоев. Между собой арки соединяются продольными ребрами (рис. 71).

Конвейерная лента и дерево по своим механическим характеристикам (модуль упругости E , предельное напряжение σ , предельная деформация ε) приближаются к природным материалам, соответственно к сухожилию и кости. Такое сочетание материалов можно наблюдать в суставах животных и человека. В частности, конструкция покрытия и была разработана на основе строения плечевого сустава человека (рис. 72).

Займствованный из природы порядок расположения слоев в элементах конструкции позволил сохранить высокую несущую способность, присущую трехслойным структурам, и одновременно обеспечить гибкость конструкции, которая позволяет осуществлять трансформацию ее из плоскости и получать различные формы (рис. 73—75).



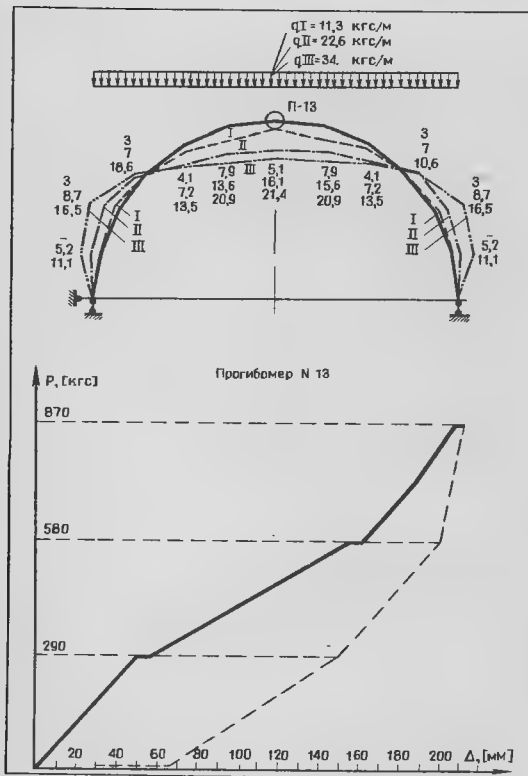


Рис. 75. Характер деформации каркаса упругогибкого покрытия при двухстороннем нагружении

Рис. 76. Эпюры перемещений узловых точек каркаса упругогибкого покрытия при двухстороннем нагружении

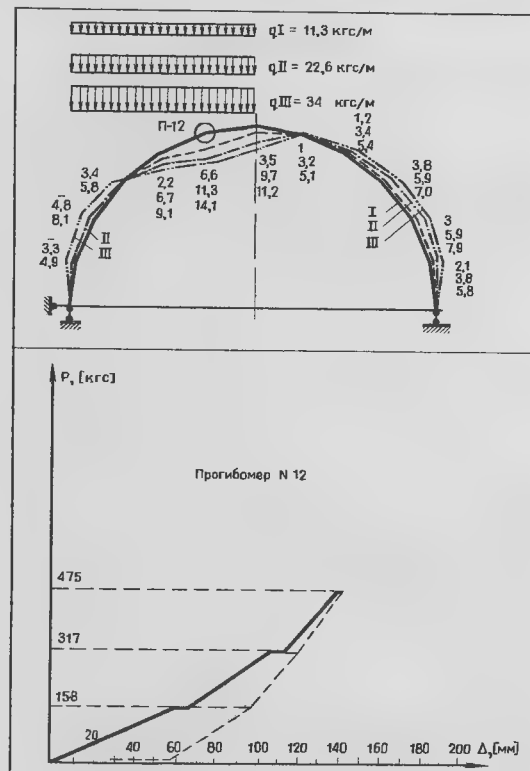


Рис. 77. Эпюры перемещений узловых точек каркаса упругогибкого покрытия при одностороннем нагружении

Рис. 78. Характер деформации каркаса упругогибкого покрытия при одностороннем нагружении

Для выявления характера напряженно-деформированного состояния конструкции трансформируемого сетчатого покрытия были проведены теоретические и экспериментальные исследования на модели. Модель трансформируемого сетчатого покрытия (см. рис.71) выполнялась в натуральную величину из отдельных трехслойных арок, расположенных параллельными рядами с шагом 650 мм. Длина отдельной арки определялась длиной линии кривизны поверхности цилиндрической оболочки и составляла 5760 мм. Каждая арка состояла из непрерывных гибких поясов, выполненных из кон-

вейнерных лент ($E = 1300$ МПа, $R_p = 80$ МПа), прикрепленных с двух сторон к однотипным жестким призматическим деревянным элементам ($E = 10\,000$ МПа, $R_{сж} = 13$ МПа) сечением 40х40 мм и длиной 450 мм. Торцы призматических элементов заканчивались полукруглыми вырезами ($r = 20$ мм). В круглые отверстия, получаемые при стыковке призматических элементов, вставлялись продольные ребра диаметром 40 мм и длиной 4550 мм. При трансформации конструкции модели из плоскости была получена цилиндрическая оболочка с радиусом кривизны $R = 1750$ мм и длиной 4550 мм.

Характеристики нагрузок принимались исходя из реальных условий эксплуатации таких покрытий (Ш территориальный район СССР по снеговому покрову) и составляли с учетом коэффициента перегрузки $n = 1,6$ и коэффициента перехода к снеговой нагрузке (вариант 1) $C_1 = 0,3$ (пп. 5.3 и 5.7 СНиП 11-6-74): равномерно распределенная — $0,50 \text{ кН/м}^2$, сосредоточенная — $0,80 \text{ кН}$. Опирали сетчатое покрытие модели осуществлялось в поперечном направлении на жесткие торцовые диафрагмы, в продольном направлении — на крайние ребра жесткости (бортовые элементы).

Для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния модели сетчатого покрытия из слоистых элементов был выполнен ее статический расчет. Следует отметить, что гибкие наружные слои элементов сетчатого покрытия имеют модуль упругости на порядок меньше, чем жесткий внутренний слой, и незначительную по сравнению с ним толщину, поэтому в расчете они также принимались жесткими.

По виду расчетной схемы трансформируемое из плоскости в пространство сетчатое покрытие при принятом типе опирания отвечает сетчатому своду-оболочке. Исходя из этого задача расчета покрытия как стержневой системы с жестким сопряжением узлов сводилась к составлению и решению уравнения равновесия в перемещениях

$$[C]N - P = 0,$$

где $[C]$ — матрица жесткости всей системы; N — вектор перемещений узловых точек; P — вектор внешней нагрузки.

Сетчатое покрытие рассчитывалось, согласно принятой расчетной схеме, на нагрузку, равномерно распределенную по всему покрытию и на половине его, а также на сосредоточенную нагрузку, приложенную в центре покрытия. Равномерно распределенная нагрузка сводилась к узловой. Задача расчета сетчатого покрытия реализовалась на ЭВМ по программе "Рассудок".

Анализ расчетных данных показал, что при действии равномерно распределенной нагрузки по всей поверхности покрытия последнее приобретает седловидную форму, прогибаясь в продольном направлении и выпучиваясь в поперечном. Наибольшие значения вертикальных перемещений узловых точек ($1,2 \text{ см}$) возникли в центральной части покрытия, а наибольшие горизонтальные перемещения — в боковых его частях и составили $0,8 \text{ см}$.

При одностороннем действии равномерно распределенной нагрузки загруженная половина поверхности покрытия приобретает также седловидную форму, а незагруженная половина — бочкообразную. Наибольшие вертикальные перемещения узловых точек ($0,7 \text{ см}$) возникли в центральной части загруженной половины в четверти пролета покрытия, наибольшие горизонтальные перемещения ($0,5 \text{ см}$) — в боковой части ненагруженной половины, в четверти пролета покрытия.

Действие сосредоточенной нагрузки носило локальный характер, при этом перемещение в точке приложения нагрузки составило $0,75 \text{ см}$.

При всех случаях загрузки покрытия напряжения в сечениях элементов в основном носили знакопеременный характер, причем максимальные значения превышали допустимые предельные в $1,5$ раза.

Проведенные теоретические исследования напряженно-деформированного состояния сетчатого покрытия показали, что для восприятия заданных нагрузок и обеспечения напряжений в стержневых элементах в допустимых пределах требуется значительное увеличение их поперечных сечений.

А что же показали экспериментальные исследования?

Напряженное состояние модели сетчатого покрытия исследовалось тензометрическим методом. Вертикальные и горизонтальные перемещения узловых точек, образованных пересечением арок и продольных ребер,

измерялись при помощи прогибомеров системы БПАО. Сетчатое покрытие испытывалось на воздействие кратковременных нагрузок в пределах расчетных значений ($g_p = 0,5 \text{ кН/м}^2$). В качестве нагрузки использовался штучный груз массой $3,3 \text{ кг}$, подвешиваемый на специальных крюках в узловых точках покрытия, разбитого на грузовые зоны. Загрузка велась ступенями. Разгрузка покрытия осуществлялась также по ступеням; но в обратном порядке.

Сетчатое покрытие при действии равномерно распределенной нагрузки по всей его поверхности работает как сетчатый свод-оболочка с жесткими узловыми сопряжениями. Эпюры перемещений узловых точек покрытия приведены на рис. 75. Следует отметить значительные величины перемещений узловых точек покрытия, возникающие при загрузке, по сравнению с расчетными, что объясняется подвижностью шарнирных узловых соединений покрытия. Наибольшие значения перемещений ($21,4$ и $16,5 \text{ см}$) наблюдались соответственно в центральной и боковой частях покрытия.

Под нагрузкой покрытие, деформируясь, приобретает седловидную форму — в продольном направлении прогибается вниз центральная часть, а в поперечном выпучиваются наружу боковые части (рис. 76). При нагружении происходит стабилизация конструкции, в результате чего она становится более жесткой. По представленной на рис. 75 зависимости между внешней нагрузкой и перемещением можно судить и о том, как протекает процесс накопления и возврата упругой энергии деформации в ходе нагружения покрытия и последующей его разгрузки. Можно видеть, что сетчатое покрытие из слоистых стержневых элементов с шарнирными узловыми сопряжениями обладает способностью запасать упругую энергию деформации без разрушений в большей степени, чем сетчатый свод-оболочка с жесткими узловыми сопряжениями.

В сетчатом покрытии из слоистых стержневых элементов при действии равномерно распределенной нагрузки на половине поверхности картина деформации в поперечном направлении несколько иная, чем в сетчатом свод-оболочке с жесткими узловыми сопряжениями. Центральная часть половины поверхности покрытия, находящаяся под нагрузкой, прогибается вниз, а боковая часть этой половины выпучивается наружу (рис. 77). Схема деформации сетчатого покрытия при одностороннем нагружении (рис. 78) похожа на схему деформации при полном нагружении, но с некоторым смещением в сторону приложения нагрузки. Это связано с тем, что шарнирные узловые соединения элементов лишают бокового смещения покрытие в целом при одностороннем нагружении. Наибольшие вертикальные перемещения возникают в центральной части загруженной половины покрытия и составляют $14,1 \text{ см}$, наибольшие горизонтальные перемещения — в боковых частях покрытия и составляют $7,9$ и $8,1 \text{ см}$.

Из графика зависимости между внешней нагрузкой и узловым перемещением покрытия (см. рис. 78) видно, что процесс накопления и возврата упругой энергии деформации носит уже более равномерный характер. Это объясняется приработкой элементов конструкции в результате ранее проводимых двухсторонних нагружений и разгрузок покрытия.

При нагружении сетчатого покрытия односторонней, двухсторонней и сосредоточенной нагрузками в гибких наружных слоях стержневых элементов возникали только растягивающие напряжения, а во внутреннем жестком слое (призматических стержнях) — только сжимающие. Наиболее напряженными местами в конструкции сетчатого покрытия оказались центральная и боковая зоны. В центральной зоне были растянуты нижние гибкие пояса, а в боковых зонах — верхние. Максималь-

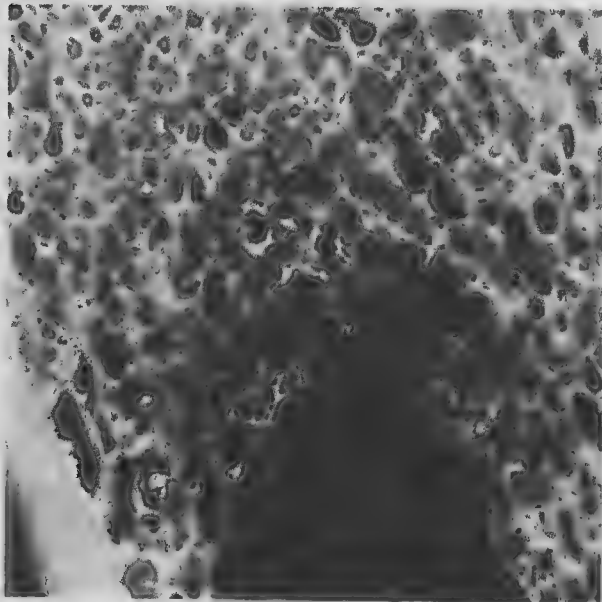
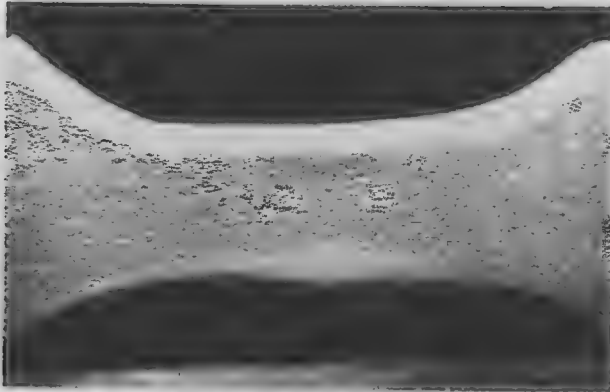


Рис. 79. Гетерогенное размещение материала в костях животных (позвоночник кита)

Рис. 80. Гетерогенное размещение материала в костях человека (бедренная кость)

ные напряжения в них составили $\sigma = 35$ МПа. В то же время в сечениях призматических стержней максимальные напряжения достигали $\sigma = 5$ МПа. Таким образом, несущая способность сетчатого покрытия из слоистых стержневых элементов при приложении нагрузок на него в пределах расчетных использована не полностью, тогда как по расчету стержневые элементы в центральной и боковых частях сетчатого свода-оболочки при жестком сопряжении узлов значительно перенапряжены. Следует отметить, что, хотя сетчатое покрытие обладает высокой несущей способностью при относительно малой массе, все же оно податливо под нагрузкой. Поэтому при создании таких покрытий необходимо либо исходить из их функционального значения, либо искать компромиссное решение между жесткостью, прочностью и массой, т.е. решать задачу оптимизации стержневых систем [28].

Принцип гетерогенного размещения материала в конструктивных системах. Наряду с принципом траекториального строения решеток следует сказать еще о гетерогенном характере размещения материала в конструктивных системах [9]. Так, плоские (пластинчатые) кости человека и позвоночных животных характеризуются трехслойным строением (рис. 79, 80) — между наруж-

нутренний слой губчатой (спонгиозной) костной ткани, представляющей собой трехмерную структуру из костных балочек. Эти плоские кости (например, кости черепа) подвергаются действию изгибающих, сжимающих и растягивающих нагрузок. Сочетание слоев с различными свойствами позволяет получить конструкцию типа "сэндвич" с высокой прочностью, жесткостью и относительно малой массой. Общая устойчивость конструкций с гетерогенным размещением материала во много раз превышает устойчивость отдельных ее слоев, вследствие чего наружные слои из компактной костной ткани имеют значительно меньшую толщину, чем внутренние слои спонгиозной костной ткани. Внутренняя губчатая костная ткань выполняет роль заполнителя, создающего практически непрерывную опору для наружных слоев, и тем самым предохраняет их от потери устойчивости при нагружении.

Это достигается определенным видом структуры внутреннего слоя, которая представляет собой материализацию силового поля, возникающего от действия внешних нагрузок, т.е. снова срабатывает принцип траекториального строения решеток конструкций.

А потому геометрия решетки внутреннего слоя для каждого конкретного случая может быть найдена уже методами математического программирования. Наибольший интерес представляет поиск оптимальных по массе структур пластинчатых элементов постоянной толщины.

В имеющихся в этой области работах [36, 37] структуры с ячейками в виде треугольников, ромбов, шестиугольников, овалов и т.д. обычно задаются заранее и только варьируются их геометрические параметры. По сути дела, ведется простой перебор вариантов, а не направленный поиск.

Слабость такого подхода состоит в том, что выбор структуры с тем или иным типом ячейки зависит от опыта проектировщика и носит случайный характер, так как неизвестно, насколько принятая структура пластинчатого элемента близка к оптимальной.

Но, с другой стороны, сама структура пластинчатых элементов представляет собой сложную стержневую систему, поэтому направленный поиск оптимальных вариантов из-за большого числа неизвестных параметров также представляет собой трудно реализуемую математическую задачу. Это ограничивает возможности направленного поиска оптимальных структур пластинчатых элементов. В данном случае синтез оптимальной структуры пластинчатых элементов может осуществляться на основе метода конечных элементов (МКЭ) и метода безусловной минимизации в сочетании с методом сопряженных градиентов [41]. Прежде всего пластинчатая стержневая система разбивается на конечные элементы. Причем, количество последних задается таким образом, чтобы, с одной стороны, можно было получить приемлемые результаты, а с другой — уменьшить вычислительные процессы. Для теоретического исследования статической работы пластинчатых стержневых систем предпочтительнее применять МКЭ в форме метода перемещений. Это позволяет уменьшить размерность задачи и, следовательно, сократить вычислительную работу.

После получения картины напряженно-деформированного состояния пластинчатой системы в целом более напряженные конечные элементы аппроксимируются шарнирно-стержневыми аналогами с сохранением условий равновесия. Приложение сил к стержневым аналогам, которые эквиваленты внешним нагрузкам, действующим на элементы и возникающим усилиям, показано на рис. 81.

Далее следует оптимизация по массе стержневого аналога (синтез структуры в случае одного нагружения). При формализации задачи синтеза оптимальной

структуры упругой шарнирно-стержневой системы использовались в качестве ограничений и неравенства, отражающие ее двойственный характер как задачи математического программирования [39]. Формализованная таким образом задача содержит дополнительную информацию (условие эквивалентности потенциальной энергии деформации работе внешних сил), которая позволяет получить устойчивое решение.

Запишем математическую модель задачи синтеза структуры стержневого аналога.

$$\text{Найти } \min [(C^{(+)} S^{(+)} + C^{(-)} S^{(-)})] - \text{масса} \quad (10)$$

при условиях:
 $0,5 (W^{(+)} S^{(+)} + 0,5 (W^{(-)} S^{(-)} - 0,5 (F, N) = 0$ — условие эквивалентности
 деформаций работе внешних сил; (11)

$$AS^{(+)} - AS^{(-)} = F \quad \text{— условие равновесия;} \quad (12)$$

$$A^T N \leq W^{(+)} \quad \text{— условие совместности деформаций} \quad (13)$$

$$N \leq \Delta^{(+)} \quad \text{— условия жесткости;} \quad (14)$$

$$S^{(+)} \leq 0 \quad \text{— условия неотрицательности.} \quad (15)$$

Здесь $S^{(+)}, S^{(-)}$ — искомые n -мерные векторы усилий соответственно в растянутых и сжатых стержнях; $C^{(+)}, C^{(-)}$ — заданные n -мерные векторы коэффициентов массы соответственно для растянутых и сжатых стержней; $W^{(+)}, W^{(-)}$ — $(n-m)$ -мерные векторы продольных допускаемых деформаций соответственно при растяжении и сжатии; F — $(n-m)$ -мерный вектор внешних сил, эквивалентный внешним нагрузкам и усилиям, приходящимся на конечный элемент; N — искомый $(n-m)$ -мерный вектор перемещения узлов стержневого аналога; A — заданная $(n-m) \times n$ -мерная матрица условий статического равновесия стержневого аналога; $\Delta^{(+)}, \Delta^{(-)}$ — заданные $(n-m)$ -мерные векторы допустимых значений перемещений узлов стержневого аналога.

Задачи (10) — (15) представляют собой задачу линейного программирования, которая в принципе может быть решена точными методами. К сожалению, основные трудности, с которыми приходится сталкиваться при решении задачи синтеза структуры стержневого аналога этими методами, вызваны слабой заполненностью, обусловленностью и особенно обращением слабо заполненных матриц. Все это ограничивает возможности решения задач большой размерности. Поэтому, чтобы исключить вышеуказанные причины, условная задача синтеза оптимальной структуры пластинчатых элементов (10) — (15) по методике, изложенной в работе [40], может быть сведена к эквивалентной безусловной экстремальной задаче следующего вида:

$$(C, X) + \lambda \| (DX - L) \|^2 \rightarrow \min \quad (16)$$

и решается методом сопряженных градиентов.

$$\text{Здесь } C = (C^{(+)}, C^{(-)}, 0); X = \begin{pmatrix} S^{(+)} \\ S^{(-)} \\ N \end{pmatrix}; D = \begin{pmatrix} 0,5W^{(+)} & 0,5W^{(-)} & -0,5F \\ A & -A & 0 \\ 0 & 0 & -A^T \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}; L = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ W^{(+)} \\ W^{(-)} \\ \Delta^{(+)} \\ \Delta^{(-)} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Знак "+" означает, что $(DX - L) > 0$. При коэффициенте штрафа $\lambda \rightarrow \infty$ решение задачи (16) стремится к решению задачи (10) — (15).

После синтеза оптимальной структуры проводится анализ, корректируются модуль упругости и коэффициент Пуассона пластинчатых элементов.

В целях проверки напряженно-деформированного состояния пластинчатая система с уточненными жесткостными характеристиками элементов вновь просчитывается МКЭ.

На рис.82 представлены результаты синтеза оптимальной структуры наиболее напряженного элемента пластинчатой системы, рассмотренной в работе [41]. Оптимизация осуществлялась методом безусловной мини-

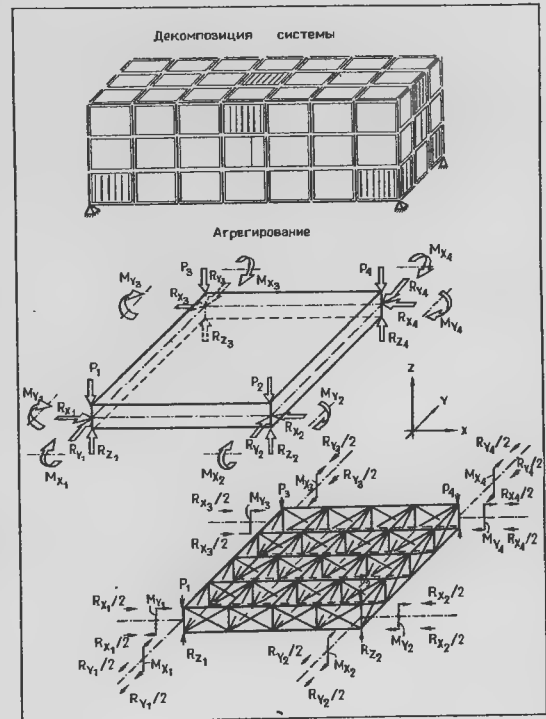
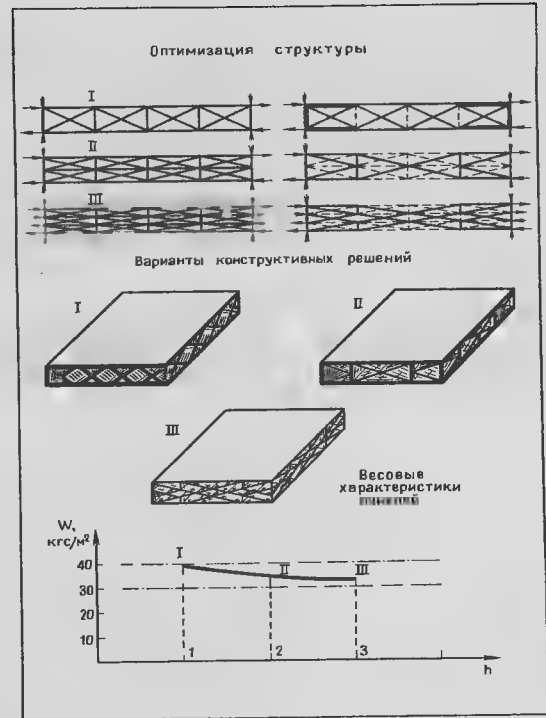


Рис. B1. Разбивка конструктивной системы на конечные элементы и аппроксимация их стержневыми аналогами

Рис. B2. Синтез оптимальных структур элементов конструктивной системы

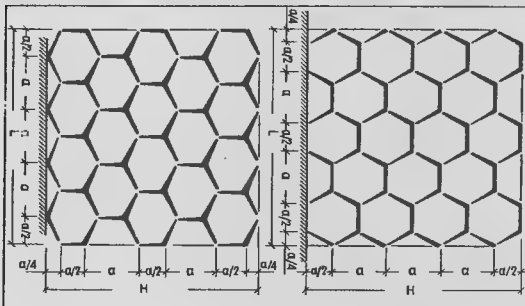
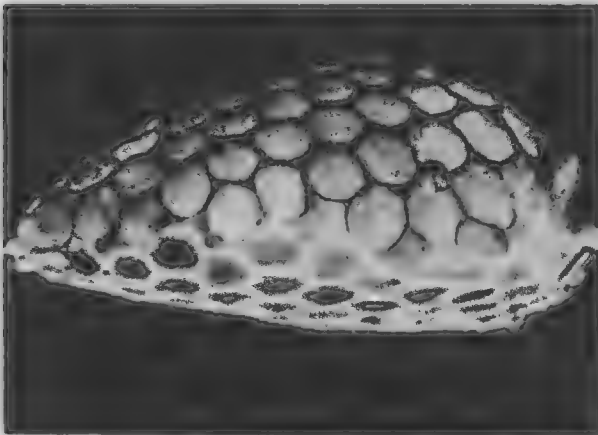
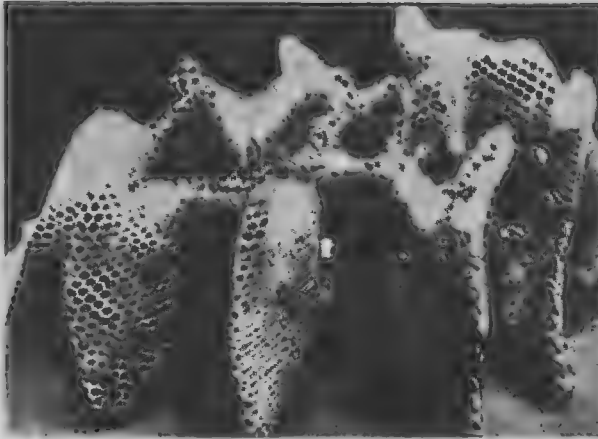


Рис. 83. Радиально расходящиеся соты пчел, построенные снизу вверх

Рис. 85. Варианты конструктивных схем зданий на основе гексагональной упаковки

Рис. В4. Сот, построенный снизу вверх, в соломенном улье Русси

что с увеличением густоты разбивки решетки материал в основном концентрируется по периферии, а количество пустот растет к центру. Это вызвано тем, что при заданных условиях загрузки средняя часть стержневого аналога включается в работу незначительно. С увеличением густоты разбивки решетки масса стержневого аналога уменьшается, асимптотически приближаясь к предельному значению.

Принцип плотной упаковки. Плотная упаковка в живой природе проявляется при оптимизации биологических структур и форм в том случае, когда в структуре ячейки должны иметь по тем или иным причинам

постоянные геометрические характеристики. Так, пчелы приблизительно одинаковых размеров при постройке своих сот образуют плотную упаковку из кругов, которые под действием капиллярных сил, превышающих давление изнутри от пчелиных тел, превращаются в описанные шестиугольники. И, как установил еще итальянский ученый Маральди в 1712 г., такая упаковка пчелиных сот определяется экономичным использованием труда и воска. При такой разбивке плоскости на части одинаковой площади шестиугольная сетка имеет минимальную длину. Структуры с шестиугольным рисунком можно наблюдать также в тканях паренхимы кукурузы, в кремнистых панцирях диатомовых водорослей, в сетчатой оболочке глаза человека и т.д. [42].

Изучение процесса сооружения пчелиных сот показало, что возможно возведение их как сверху вниз, так и снизу вверх [43—44]. Кроме того, проводились опыты, в которых пчел заставляли строить соты цилиндрические, шаровидные и других форм. При этом пчелы с поразительным успехом справлялись с поставленной перед ними задачей. Они безошибочно ориентировали ячейки сот, соответственно оттягивая расширенные ячейки в выпуклую сторону и сужающиеся — в вогнутую. Это наглядно показало, что плотная упаковка может быть осуществлена не только на плоскости, но и развита в пространстве (рис. 83, 84).

Принцип плотной упаковки, позволяющий получать максимально возможный полезный объем при минимальной поверхности ограждения (см. гл. V), представляет интерес с точки зрения формирования архитектурно-конструктивного пространства жилых и общественных зданий. Исходя из этого и было проведено вариантное сопоставление различных конструктивных схем зданий с позиции напряженно-деформированного состояния и расхода материала. Схемы были получены на основе гексагональной и кубической упаковок одной и той же плоскости размером 8,4х8,4 м (рис. 85). Причем элементы структур имели постоянное приведенное сечение на 1 м.

Конструктивные схемы зданий на основе гексагональной упаковки. Были рассмотрены две конструктивные схемы зданий (см. рис. 85), набираемые из модульных элементов (либо из однотипных складок — вариант 1, либо из однотипных трилистников — вариант 2). Складки или трилистники устанавливались друг на друга с шарнирным соединением между собой. Для восприятия распорных усилий, которые возникают в таких системах, вводились горизонтальные стяжки. С целью предварительной оценки напряженно-деформированного состояния этих вариантов был выполнен статический расчет многоэтажных систем с гексагональной решеткой. Величина снеговой нагрузки принималась согласно СНиП II-6-74 "Нагрузки и воздействия": снеговые нагрузки для III территориального района СССР — 1 кН/м², эксплуатационные нагрузки (сосредоточенные) — 6 кН.

Расчетные схемы здания представляли собой плоские статически неопределимые рамы с шарнирами в местах соединения однотипных элементов. Для восприятия распорных усилий в расчетную схему были введены горизонтальные связи. Рамы были прикреплены к основанию шарнирно-неподвижно. Снеговые нагрузки сводились к узловым, а эксплуатационные фиксировались в местах непосредственного их действия. Геометрические характеристики материала приведены в таблице.

Статический расчет плоских многоэтажных рам на действие заданных нагрузок был выполнен на основе метода перемещений на ЭВМ по программе "Стресс".

Анализ расчетных данных показал (см. таблицу), что рама из модульных элементов — трилистников в стати-

Исходные данные

№ варианта структуры	модульный элемент структуры	модульный размер элемента d , м	габаритные размеры структуры $L \times B \times H$, м	толщина стенового элемента d_1 , мм	толщина элемента перекрытия d_2 , мм	модуль упругости материала E , т/м ²	коэффициент Пуассона ν	изгибная жесткость элемента EI_1	изгибная жесткость элемента перекрытия EI_2
1				80	80			106,6	106,6
2		2,1	8,4x4,5x8,4	80	80	2,5·10 ⁶	0,2	106,6	106,6
3				80	80			106,6	106,6
4				80	80			106,6	106,6

Продолжение табл.

Исходные данные			Результаты исследований							
сдвиговая жесткость стенового элемента GF_1 , т	сдвиговая жесткость элемента перекрытия GF_2 , т	величина нагрузки P , кгс	суммарная длина элементов структуры $\sum L$, м	количество ячеек в структуре	объем материала на структуру V , м ³	приведенный объем материала $V/L \times B$, м ³ /м ²	объем материала на ячейку, м ³	интенсивность нагрузки на 1 м ² площади, т/м ²	максимальные напряжения в стеновых элементах σ_1 , кгс/см ²	максимальные напряжения в элементах перекрытия σ_2 , кгс/см ²
80 000	80 000		77,3489	20	6,1879	0,1637	0,310	0,571	16,345 -23,99	17,195 -23,118
80 000	80 000	600	80,4989	20	6,4399	0,1704	0,322	0,571	173,64 -180,36	173,5 -180,5
80 000	80 000		75,600	16	6,048	0,16	0,378	0,507	14,1775 -14,3226	34,406 -34,261
80 000	80 000		75,600	16	6,048	0,16	0,378	0,507	16,5672 -18,3297	29,633 -29,446

ческом отношении работает в более тяжелом режиме, чем рама из модульных элементов-складок. Это объясняется значительными распорными усилиями, возникающими в этой системе в уровне потолка из-за отсутствия там горизонтальных затяжек, что было вызвано необходимостью сохранения полезного объема помещения. Для этого случая наибольшие значения узловых перемещений составили 3,15 мм, а наибольшие значения напряжений — +17,35 МПа и 18,33 МПа. В то же время в раме из модульных элементов-складок при том же расхода материала узловые перемещения и напряжения в сечениях были значительно меньше. Так, максимальные значения перемещений составили 0,623 мм, а наибольшие напряжения — +1,71 МПа и -2,39 МПа.

Кроме того, при конструктивной схеме из модульных элементов - трилистников (вариант 2) здание в объемно-планировочном отношении уступает варианту 1 (уменьшается полезная высота помещений за счет необходимости создания пола на наклонных сторонах шестиугольных ячеек).

Конструктивные схемы здания на основе кубической упаковки. Были рассмотрены две конструктивные схемы зданий (рис. 86), набираемые либо из модульных крестообразных рам (вариант 3), либо из модульных крестообразных рам с горизонтальными вставками (вариант 4).

Конструктивное решение (рис.87) стыкового соединения модульных крестообразных рам зданий между собой в вертикальном направлении разработано на основе строения сустава человека (articulatio genus). Особенностью этого решения является то, что у крестообразных рам концевые элементы имеют уширения. Причем уширения верхнего вертикального элемента рамы заканчиваются выпуклой поверхностью, а уширения нижнего элемента — вогнутой.

При сборке крестообразные рамы устанавливаются одна на другую через упругие прокладки. При стягивании их вертикальными ваннами, проходящими через отверстия в горизонтальных элементах и через уширения концевых частей вертикальных элементов, происходит плотное прижатие последних друг к другу. Такие узловые соединения крестообразных рам могут найти

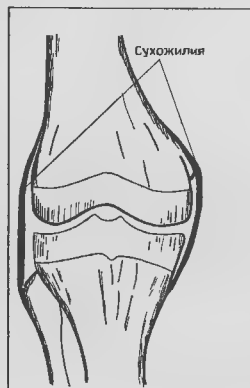
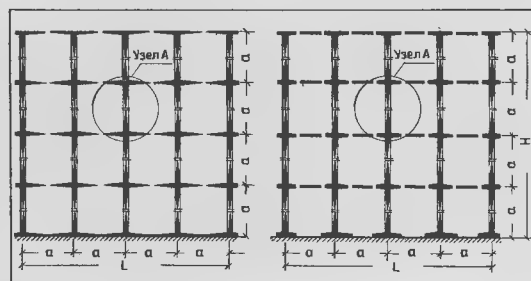
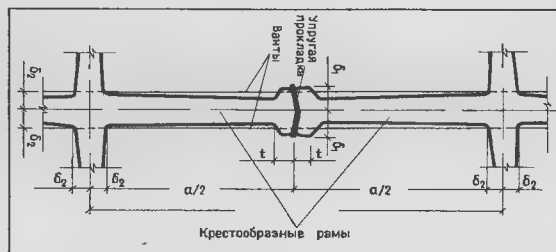


Рис. 86. Варианты конструктивных схем зданий на основе кубической упаковки

Рис. 87. Конструктивное решение стыкового соединения на основе строения коленного сустава человека (инж. В.Г. Темнов). Коленный сустав человека

применение в зданиях, строящихся в районах с неравномерными осадками основания.

Для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния вариантов 3 и 4 был выполнен статический расчет многоэтажных систем с кубической решеткой.

Величины снеговых и эксплуатационных нагрузок имели те же значения, что и для вариантов 1 и 2. Расчетные схемы зданий представляли собой плоские статически неопределимые рамы с шарнирами в местах соединения однотипных крестообразных модулей либо между собой, либо со вставками. В основании рамы были жестко защемлены.

Снеговые и эксплуатационные нагрузки были учтены аналогично вариантам 1 и 2. Геометрические характеристики модульных крестообразных рам и физико-механические характеристики материала приведены в таблице.

Статический расчет плоских рам выполняется по вышеприведенной методике.

Анализ расчетных данных показал (см. таблицу), что в раме, набираемой из крестообразных модулей (вариант 3), возникают несколько большие перемещения и напряжения по сравнению с рамой, набираемой из крестообразных модулей с горизонтальными вставками (вариант 4). Для этого варианта наибольшие значения узловых перемещений составили 0,663 мм, а максимальные напряжения $\pm 3,44$ МПа. В варианте 4 наибольшие значения перемещений составили 0,4 мм, а максимальные напряжения $\pm 2,96$ МПа. И хотя узловые перемещения в варианте 4 были в 1,5 раза меньше, чем в варианте 3, все же значения изгибающих моментов, продольных сил и напряжений в этих вариантах отличались незначительно. В принципе эти варианты можно считать равноценными.

Выводы

Сравнение конструктивных схем плоских многоэтажных рам, полученных на основе гексагональной и кубической упаковок одной и той же плоскости размером 8,4х8,4 м, показало:

1. Конструктивная схема здания из модульных элементов-складок (гексагональная упаковка) из всех рассмотренных вариантов является предпочтительной, так как она позволяет при наименьшем расходе материала на одну ячейку ($0,34 \text{ м}^3$) получить наибольшее их число (20 шт.) и обеспечить минимум напряжений в сечениях элементов рамы.

2. Конструктивные схемы зданий из модульных крестообразных рам (кубическая упаковка) являются рациональными в статическом отношении, но уступают конструктивным схемам зданий на основе гексагональной упаковки с точки зрения числа ячеек (16 шт.) и расхода материала на ячейку ($0,378 \text{ м}^3$).

3. Конструктивная схема здания из модульных элементов-трилистников (гексагональная упаковка) является рациональной по числу ячеек (20 шт.), но проигрывает по сравнению со всеми другими вариантами в статическом отношении: возникают большие узловые перемещения и напряжения в сечениях элементов рамы. Это требует увеличения сечения элементов, а следовательно, и общего расхода материала.

Транстропно-полигональные структуры образуются на основе сочетания принципов плотной упаковки типовых ячеек (кубическая тетраэдрическая, гексагональная и т.д.) и гетерогенного размещения материала в их гранях. Это позволяет одновременно получить рациональную компоновку пространства из типовых ячеек и создать оптимальную по массе конструкцию здания, обладающую высокими прочностными, жесткостными и теплофизическими свойствами.

Конструктивное решение многоэтажного здания из гексагональных модульных блоков. Одним из примеров транстропно-полигональных структур являются многоэтажные здания, полученные из модульных объемно-пространственных блоков (рис. 88, 89).

Модульный блок представляет собой шестиугольную призму, образованную двумя складками корытообразного профиля, зеркально установленными друг к другу и жестко соединенными с торцовыми шестиугольными

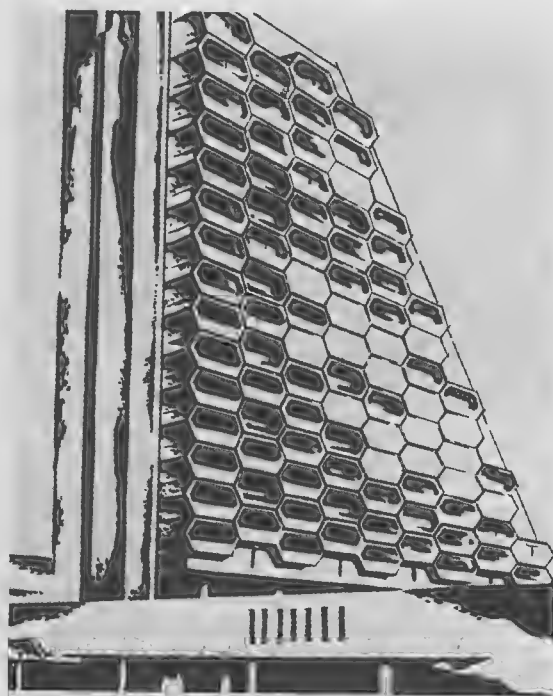


Рис. 88. Проект высотного здания из гексагональных модульных блоков (архитекторы Е.Е. Чернов, А.В. Иванов, инженеры В.Г. Темнов, Е.Н. Митрофанов) — вариант 1

Рис. 89. Проект высотного здания из гексагональных модульных блоков (архитекторы Е.Е. Чернов, А.В. Иванов, инженеры В.Г. Темнов, Е.Н. Митрофанов) — вариант 2

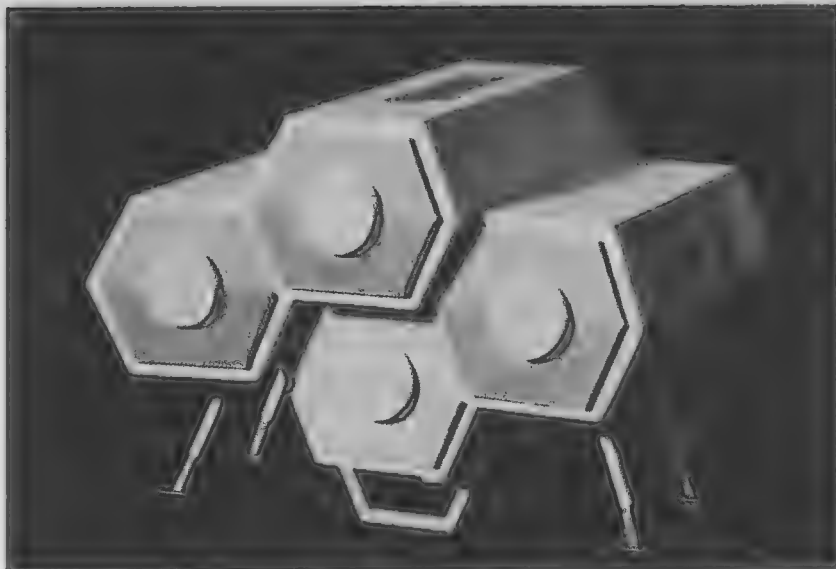


Рис. 91. Проект малоэтажного здания из модульных блоков для северных районов (архитекторы Е.Е. Чернов, А.В. Иванов, инженеры В.Г. Темнов, Е.Н. Митрофанов)

Рис. 90. Модульный объемно-пространственный блок с транзитивно-полигональной структурой

1 — торцовая диафрагма; 2 — складчатый элемент конструкции блока (корытообразной формы); 3 — зазор; 4 — горизонтальные каналы; 5 — поперечные затяжки; 6 — стягивающие болты; 7 — вертикальное отверстие; 8 — ребра жесткости; 9 — легкий наполнитель; 10 — панель типа "сэндвич"

диафрагмами (рис. 90, 91). Связанные между собой модульные блоки образуют гексагональную структуру многоэтажного здания. В конструктивном отношении здание по высоте представляет собой набор оболочек с сечением в виде двутавра, у которого полки образованы наклонными боковыми панелями, а стенки — горизонтальными панелями перекрытий двух смежных блоков.

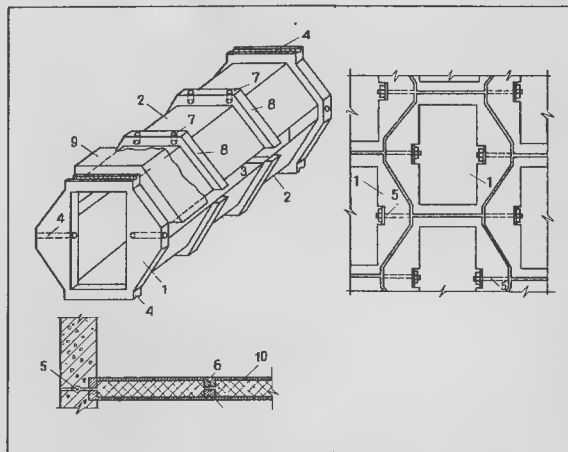
При установке блоков друг на друга за счет наличия ребер жесткости, окаймляющих горизонтальные и наклонные боковые грани оболочек, образуются внутренние полости между ними, которые заполняются теплоизоляционным материалом. В результате получают слоистые оболочки типа "сэндвич".

Конструкция многоэтажного здания за счет выполнения его из слоистых оболочек сечением в виде двутавра с обеспечением зазора между ними при опирании их на торцовые диафрагмы позволяет устранить контакт между наклонными боковыми гранями оболочек и тем самым исключить распорные усилия (по длине каждого блока), неизбежные в таких системах. Одновременно обеспечивается распределение вертикальных нагрузок как на горизонтальные, так и на наклонные боковые грани оболочек. Кроме того, за счет слоистости оболочек уменьшаются напряжения в наружных слоях. Использование поперечных затяжек, устанавливаемых в горизонтальных каналах и в выемках торцовых панелей - диафрагм (см. рис.90), позволяет связать (заклЮчить в обойму) симметрично расположенные относительно вертикальной оси торцовые панели, снять тем самым неизбежный в них распор и обеспечить их обжeтие. Все это в целом повышает несущую способность здания без увеличения расхода материала.

ТРАНСФОРМАЦИЯ В АРХИТЕКТУРЕ И В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Трансформация в живой природе и общие вопросы ее использования в архитектуре. Динамика современной жизни часто требует создания и соответствующих трансформируемых архитектурных форм [45—47].

В современной архитектуре трансформация используется для решения функциональных задач:



временных, обратимых преобразований архитектурного пространства в случае его многофункционального использования;

регуляции микроклимата помещения за счет обратимых движений конструктивных элементов (ограждающие поверхности, кровли, жалюзи);

транспортировки сооружений или их элементов в сложенном виде к месту их возведения;

монтажа других конструкций зданий.

Из таких структур можно создавать сооружения различных размеров для обеспечения как капитальных, так и временных производственных, театрально-зрелищных, спортивных мероприятий, использовать их в застройке зон отдыха, туризма, пионерских лагерей и т.п. Особое значение подобные структуры приобретают в сельском хозяйстве, а также для строительства в отдаленных районах страны.

В лаборатории архитектурной бионики ЦНИИТИА проведен анализ ряда живых структур с целью изучения принципов трансформации, в частности большое внимание уделено обратимой трансформации в растительном мире, в том числе цветов, а также костно-мышечной системе животных (рис. 93, 94).

Известно, что многие растения в процессе развития быстро, часто даже заметно для глаза наблюдателя, реа-

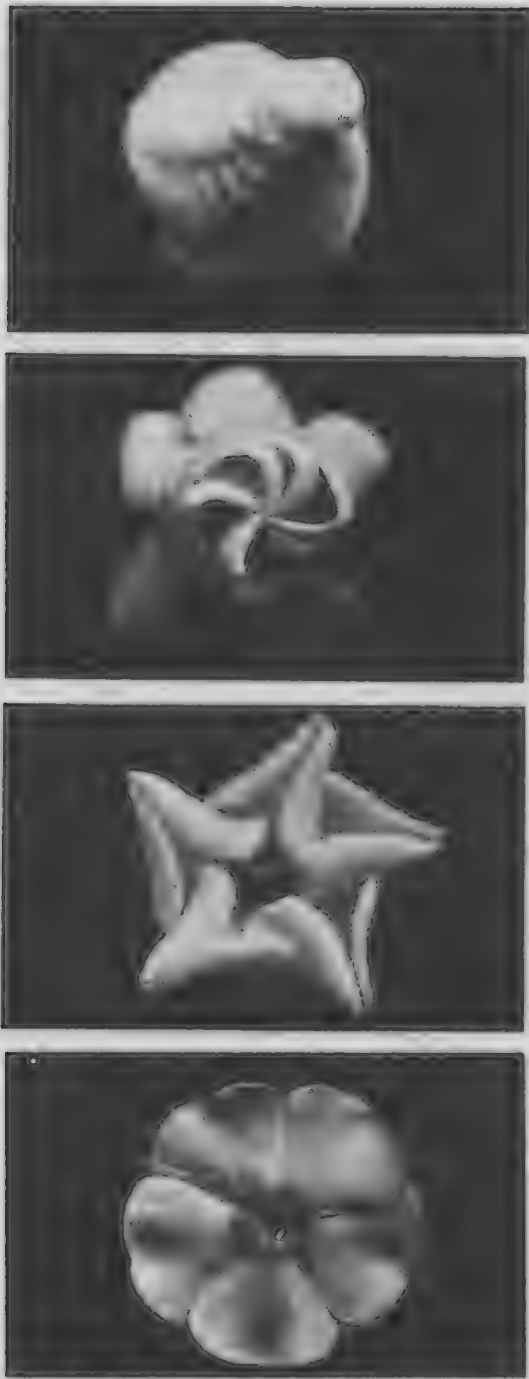


Рис. 93. Этапы трансформации цветка флокса (фото Ю.С. Лебедева): нераскрывшийся бутон; спираль; пятиконечная звезда; раскрывшийся цветок

NN	Живая природа		Архитектура
	Наименование вида	Схема природной трансформации	Виды трансформаций в архитектуре
1	Кувшинка Тюльпан		 Гибкое покрытие ЦНИИТИА
2	Шиповник		
3	Одуванчик Цикорий Осот полевой Осот огородный Мать и мачеха Козлобородник Ястребинка зонтичная Календула Подсолнечник		 Конкурсный проект бассейна (Франция) Проект павильона в Голливуде (Югославия)
4	Ипомея Вьюнок полевой		
5	Кислица Смолевка		
6	Манжетка		 Складчатое покрытие ЦНИИТИА
7	Мак		 Складчатое покрытие ЦНИИТИА
8	Лен Картофель		 Конкурсный проект бассейна (Франция)

Табл. 1. Трансформация цветов и аналоги ее в архитектуре (Ю.С. Лебедев, Н.П. Титова, Н.В. Лебедева)

гируют на изменение различных факторов внешней среды — освещенности, температуры воздуха, влажности и др.

Фото-, гидро- и термонастические движения лепестков и соцветий (открывание и закрывание цветков) представляют интерес как наиболее зрительно осязаемый процесс трансформаций растений, носящий у некоторых из них обратимый характер, т.е. многократно повторяющийся в определенный промежуток времени. Они могут быть использованы при моделировании конструкций архитектурных сооружений, функциональный режим которых находится в зависимости от метеорологических условий.

Замечено, что цветки некоторых растений, готовые к опылению (т.е. закончившие ростовые процессы), открываются и закрываются в определенное время суток. Это явление было замечено еще К.Линнеем, который составил так называемые "цветочные часы", дополненные впоследствии наблюдениями других ученых (табл. 1). Характерно, что все растения, вошедшие в таблицу, повсеместно распространены в природе. Наибольшее их количество (около 50 %) принадлежит к семейству сложноцветных, требующих продолжительного времени для опыления многочисленных цветков, входящих в соцветие.

Многие растения отзываются на повышение влажности воздуха и служат своеобразным природным "барометром", предсказывающим дождь. Их лепестки зараннее сжимаются или совсем не распускаются в пасмурную погоду, некоторые (водные растения — кувшинка, кубышка) не только закрываются, но уходят под воду перед дождем.

Светолюбивые цветковые растения южных широт, особенно стран с жарким и сухим климатом, остро реагируют на самое незначительное изменение освещенности. Их цветки могут несколько раз открыться и закрыться даже в течение часа при смене солнечного света и тени от проходящих облаков (диморфотека, портулак, мезембриантемум). Перенесенные в более суровые для них условия средней полосы, эти растения акклиматизируются, но раскрываются только в солнечную погоду.

В одних случаях происходит движение околоцветника (тюльпан, портулак); в других — цвенок раскрывается благодаря процессам, происходящим в лепестках венчика (мак, шиповник, картофель, выюновые, нимфейные); в третьих — в процессе участвуют чашелистики (сложноцветные). Многократное открывание и закрывание спайнолепестных венчиков выюновых и пасленовых облегчается, по-видимому, наличием мягких складок между сросшимися лепестками венчика.

Рассмотрим причины и механизмы настических движений цветковых растений в период их цветения, поскольку характер открывания и закрывания цветков обусловлен происходящими в них биологическими процессами.

В ходе длительной эволюции у разных видов цветковых растений выработалась определенная цикличность ритмов и биологических реакций на суточные изменения среды. Генетически они закрепились в потомстве и характеризуют поведение растения данного вида в разные периоды его развития.

Время открывания и закрывания цветков зависит от способа и условий их опыления. Этим объясняется, например, ночное цветение смолевки. Причиной закрывания венчика многих растений перед дождем служит защитная реакция растения не излишнюю влажность, вредную для сохранности пыльцы.

Особый интерес представляет собой механизм открывания и закрывания цветка.

Наиболее распространенным объяснением считается

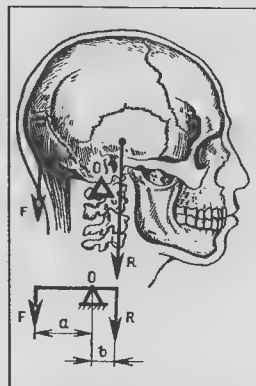
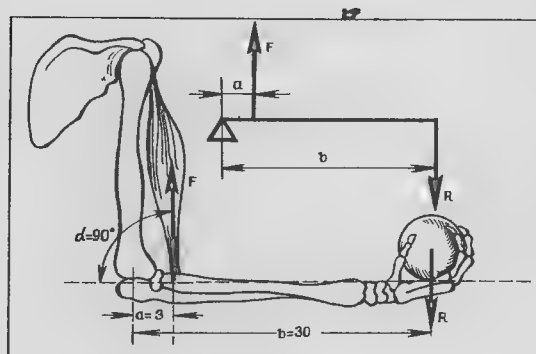


Рис. 94. Механизмы костно-мышечной системы человека: биомеханика шарнирного соединения черепной коробки и позвоночника человека; биомеханика локтевого сустава

неравномерный ускоренный рост клеток лепестков (чашелистиков), вызывающий изгиб органа цветка. При этом открывание цветка под действием раздражителя зависит от более быстрого роста внутренней стороны лепестка, а закрывание — от ускоренного роста противоположной, внешней стороны. Открывание зависит не только от освещенности, но и от температуры воздуха — с повышением температуры процесс ускоряется.

Иначе объясняется механизм открывания и закрывания светолюбивых растений южных широт, о которых говорилось выше. Он состоит в изменении клеточного давления — тургора — при помощи особых термофоточувствительных клеток, размещенных у основания лепестков. Эти своеобразные гидростатические замки способствуют зрительно осязаемому движению лепестков растений.

Механизм раскрытия цветка современная ботаника связывает также с наличием в растении физиологически активных веществ фитогормонов и явлением электрической поляризации органов цветка при долговременном действии раздражителя. Активизация процессов с высвобождением физиологически активных веществ вызывает (по этой гипотезе) в возбужденных участках отрицательный заряд. На противоположной части органа цветка (лепестка, околоцветника или чашелистика) происходит скопление анионов, ведущее к ускоренному росту внутренних клеток. Цветок раскрывается. При закрывании происходит обратный процесс.

Исследование обратимых движений дает возможность решить вопросы конструирования трансформируемых элементов зданий и гармоничного сочетания их формы с характером трансформации (прямолинейное перемещение в разных плоскостях, вращательное движение, движение по спирали и т.д.).

Проекты трансформируемых покрытий для спортивных бассейнов, приведенные в табл. 1 (рис.114), осно-

ваны на использовании идеи обратимых трансформаций цветов и механизма их открывания и закрывания.

Один из вариантов (3) основан на принципе открывания и закрывания лепестков цветка в радиальном направлении. Это покрытие бассейна (Франция). Оно состоит из 20 одинаковых элементов, напоминающих лепестки цветка. Каждый многогранный лепесток представляет собой самонесущую жесткую оболочку, которая поднимается и опускается с помощью приводных механизмов. Открывание и закрывание производится путем вращения каждой отдельной части за 8 мин. В закрытом состоянии оболочки образуют купол. Они двужутся постепенно двумя группами с промежутком в 10°, и вторая группа, перекрывая стык с первой, обеспечивает полное смыкание. Открытые "лепестки" кровли рассчитаны на ветровую нагрузку до 60 км/ч; при большей силе ветра включается защитная система и купол автоматически закрывается. Закрепление "лепестков" произведено по наружному контуру, как, например, у подсолнечника.

Более сложной представляется конструкция дома в Голливуде (архит. А. Мутнякович, СФРЮ). Дом имеет форму цветка, "лепестки" которого автоматически поднимаются и опускаются в зависимости от изменения температурно-влажностного режима внешней среды. Внутренние помещения дома то открываются к солнцу, то закрываются, защищаясь от дождя и ветра, подобно тому как лепестки цветка защищают пыльцу. В этом случае элементы кровли закреплены в центре композиции (как, например, у цикория), где расположено автоматическое регулирующее устройство. Принцип трансформации в архитектуре, основанный на исследовании обратимых трансформаций, происходящих в живой природе, все шире используется в проектировании самых различных сооружений и становится одним из важнейших принципов на пути к архитектуре будущего.

Динамические, трансформируемые конструкции (моделирование). В лаборатории архитектурной бионики Центрального научно-исследовательского института теории и истории архитектуры моделируются несколько видов обратимо-изменяемых, трансформируемых пространственных конструкций. К ним, в частности, относятся трансформируемые складчатые структуры со специальными монтажными механизмами. Аналогами служат соединенные мышцами и апоневрозами плоские кости различных видов животных, а также распускающиеся цветы и листья растений. Другой тип моделируемых структур представляют собой шарнирно-стержневые системы, подобные демпферным образованиям суставов костного скелета человека и животных.

Из таких структур в СССР начинают создавать экспериментальные трансформируемые складские помещения, сооружения типа кафе, крытых спортивных площадок, туристских палаток, домиков для геологов-разведчиков. Особое значение подобные структуры приобретают в сельском хозяйстве (оранжереи, птицефермы), в строительстве сооружений для отдаленных районов страны. Перебрасывать авиатранспортом в эти районы тяжеловесные строительные материалы и объемные конструкции — сложная, дорогостоящая операция, которая может быть рассчитана лишь на дальнейшее постоянное освоение района. Но здесь есть выход из положения. Ученые предлагают легкие трансформируемые (складывающиеся) системы, которым на время транспортировки придается компактная форма. На месте же эти системы могут быть превращены в жилые ячейки, столовые, клубные и производственные помещения.

Примерами подобных систем являются купольные или приближающиеся к арочно-цилиндрической форме покрытия со складчатыми поверхностями (рис.95). Рассмотрим несколько подробнее вторую систему — арочно-цилиндрическое складчатое покрытие (авторы Ю.С.Лебедев, С.В. Ермаков).

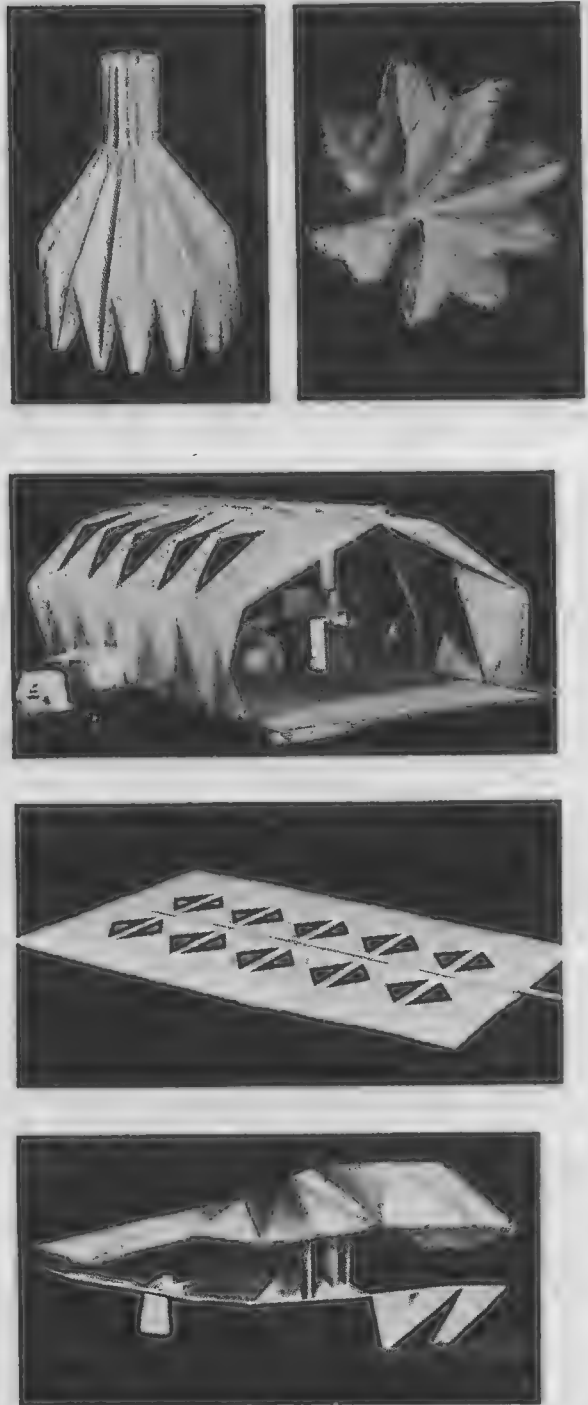


Рис. 95. Складчатые трансформируемые структуры
1 — модель купольной структуры; 2 — растение-манжетка; 3 — модель арочно-цилиндрической структуры: в рабочем состоянии; перед началом монтажа; вариант складчатого покрытия

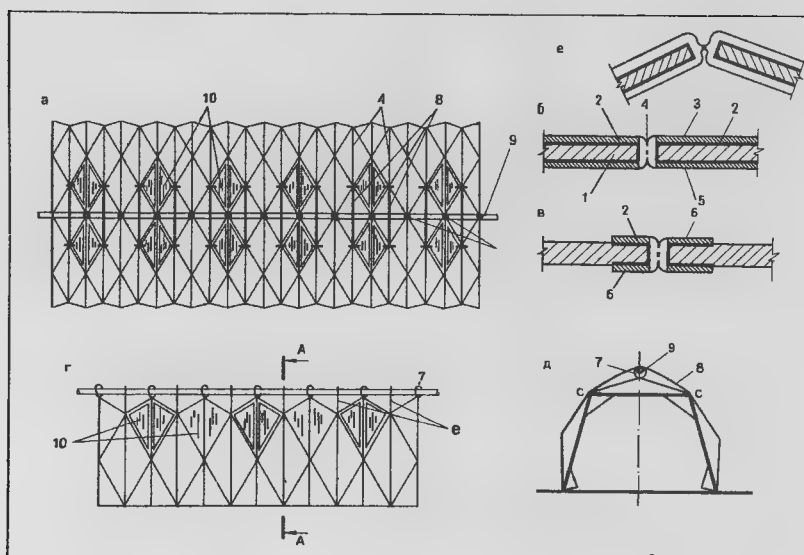


Рис. 96. Трансформируемое складчатое цилиндрическое покрытие

а — покрытие в плане, совмещенное с плоскостью; б — конструктивный разрез покрытия (фрагмент); в — вариант конструктивного разреза покрытия с полосками ткани; г — вид покрытия сбоку в поднятом положении; д — поперечный разрез по А—А с монтажными приспособлениями (разработка Ю.С. Лебедева и С.В. Ермакова при участии О.А. Гоциридзе); е — фрагмент покрытия в поднятом состоянии; 1 — жесткие пластинки (рамки); 2 — клей; 3 — наружная гидроизолирующая ткань; 4 — прошитые складки-шарниры; 5 — внутренняя ткань; 6 — наклеенные полоски ткани (вариант соединения пластинок); 7 — монтажные кольца; 8 — монтажные ванты, соединяющиеся складки с; 9 — монтажная труба, проходящая сквозь кольца и под вантами с-с; 10 — остекленные проемы

Специфика этого покрытия заключается в том, что оно образуется из уложенных в плоскости (рис. 96) жестких треугольных элементов (1), расположенных параллельными рядами по диагональным и поперечным к продольной оси покрытия направлениям. К треугольным элементам сверху приклеена (2) водонепроницаемая гибкая оболочка — полотно, синтетическая ткань, пленка (3), соединенная по складкам (4) с нижней подстилающей гибкой оболочкой (5). В зависимости от условий работы конструкции и применяемых материалов возможен другой вариант крепления треугольных элементов в виде сплошных полосок (6), расположенных по складкам.

Верхние и нижние полотна могут быть прошиты (склеены, сварены) швом вдоль складок или соединены пистонами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга. Такая упаковка жестких элементов между двумя слоями — нижним и водонепроницаемым верхним — полотно, соединенных швами, может исключить при определенных случаях и сам процесс склеивания. Вместо некоторых боковых жестких треугольных элементов могут быть образованы оконные проемы из прозрачного пластика (10).

Расположенное в плоскости покрытие в целом не обладает конструктивной жесткостью. Для приведения его в конструктивно-жесткое состояние или превращения в пространственное покрытие необходимы специальные монтажные приспособления, являющиеся непосредственной принадлежностью конструкции покрытия. Последние состоят из расположенных по продольной оси на вершинах складок колец (7), поперечных вант (8), проходящих вдоль средних складок, и пропущенной свободно сквозь кольца и под поперечными вантами трубы траверсы (9). (В больших сооружениях необходимо использовать в качестве траверсы фермы с особыми приспособлениями.) Заметим, что подобные системы обнаруживаются в живой природе — складчатые листья, некоторые виды соединения плоских костей с сухожилиями, хрящами и мышцами, морские организмы — трепанг и др.

Трансформация плоской конструкции в пространственное покрытие совершается путем подъема конструкции (в некоторых случаях простейшими подъемными приспособлениями) одновременно за оба конца трубы

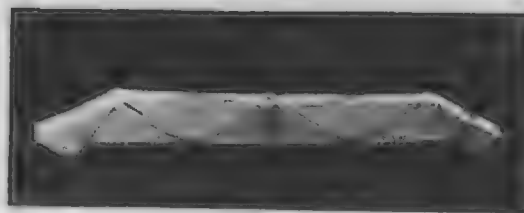


Рис. 97. Покрытие, сложенное для транспортировки

(траверсы), а во избежание при больших нагрузках прогиба трубы — также и за ее середину. Последующее закрепление оболочки по контуру основания или в отдельных его точках и устройством торцовых стенок делают покрытие жестким и устойчивым по отношению к снеговым и ветровым нагрузкам. Продольной жесткости способствует закрепленная наверху монтажная труба, хотя после монтажа от нее можно и освободиться.

Жесткие треугольные элементы могут быть сконструированы самым различным способом в зависимости от условий механической работы, действия природно-климатических факторов, назначения сооружений. Их можно реализовать в виде жестких рамок, заполненных легким материалом (пенопластом, листами фанеры, стали, алюминия, слоистыми материалами и т.д.).

Если жесткие треугольные элементы выполнены из березовой фанеры толщиной 5 мм, то покрытие, при его поперечном размере в плоском виде равное 6 м и длине 12 м, будет весить 250 кг. При использовании для треугольных элементов пенопласта вес покрытия составит 70 кг, листовой стали толщиной 1 мм — 400 кг. Такое же сооружение из железобетонных плит весило бы около 8 т!

Складчатое покрытие можно транспортировать двумя способами. При небольших параметрах покрытия (пролет до 5 м, высота до 2,2 м) его можно транспортировать в сложенном виде по принципу сложенной гармошки. При больших размерах оно складывается по попе-

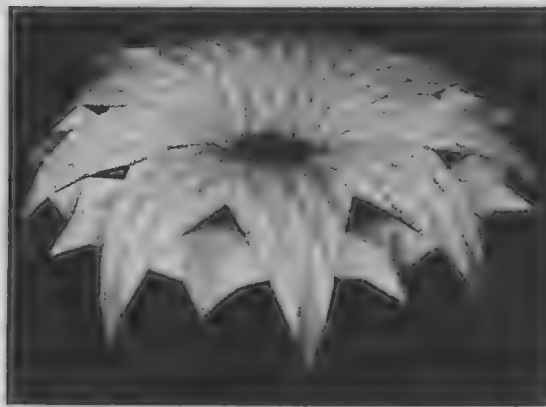


Рис. 98. Варианты складчатых форм (архитекторы Ю.С. Лебедев, В.Ф. Жданов, Е.Ю. Булгакова), О.М. Вартанян

Рис. 99. Упругогибкие конструкции (разработка: архит. Ю.С. Лебедев, технолог С.В. Ермаков, биолог О.А. Гоциридзе)

а — искусственная модель (1 — резиновая или дюритовая трубка; 2 — ванты; 3 — прикрепление ванты к трубке); б — элемент конструкции позвоночного столба человека (1 — твердая мозговая оболочка; 2 — конский хвост); в — лист подорожника с склеренхимными тканями в стебле листа

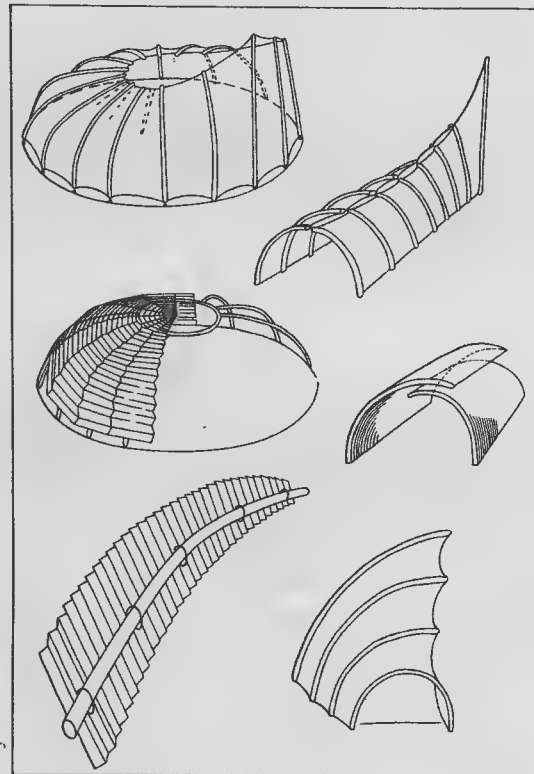
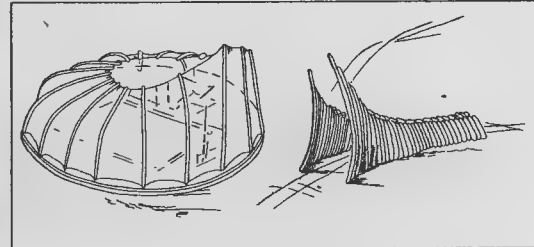
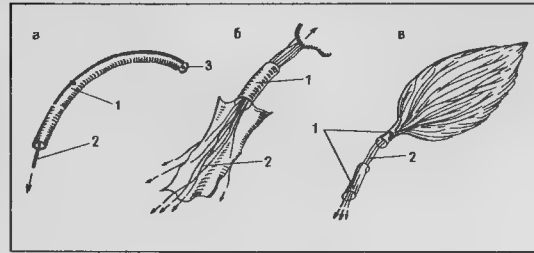


Рис. 100. Примеры покрытий на основе упругогибких трубчатых элементов

речным складкам, длина которых равна ширине разложенного на плоскости покрытия (с учетом принятых норм транспортировки) (рис. 97).

При наличии 50 поперечных складок (т.е. примерно длиной 50 м в рабочем положении покрытия) при любых габаритах треугольных элементов толщиной 0,8 см поперечный размер указанной конструкции в сложенном виде составит всего лишь 50–60 см (но в зависимости от размеров элементов будет меняться ее высота).

Некоторые типы подобных объектов могут целиком изготавливаться на заводах и привозиться к месту строительства в готовом виде.

Трансформируемое арочно-цилиндрическое складчатое покрытие при условии его транспортировки с завода-изготовителя может иметь предельный пролет 12–15 м. Транспортировка аналогичного купольного покрытия зависит от его высоты. При монтаже указанных покрытий на месте пролеты во многом связаны с возможностями подъемных механизмов.

Технико-экономический или иной эффект складчатого покрытия состоит в следующем:

может быть получено сооружение, приближающееся к арочно-цилиндрической форме со складчатой поверхностью на прямоугольном, а также на криволинейном плане; увеличивается скорость монтажа покрытий и открывается возможность обратимых трансформаций; обеспечивается удобство транспортировки покрытия в сложенном компактном виде;

в случае применения пенопласта в качестве жестких элементов, а точнее заполнителей пространства между двумя слоями полотна, покрытие обладает исключительной легкостью, и относительно небольшие по размерам покрытия могут быть перенесены одним человеком;

достигается большая экономия и индустриальность изготовления в связи с применением конструктивных элементов покрытия одной формы и двух типоразмеров;

снижается стоимость расхода материалов по сравнению с подобными же покрытиями из железобетона в 2–3 раза, с надувными — в 1,5 раза;

складчатое покрытие может быть выполнено при отсутствии индустриальной базы и вручную при наличии простых подсобных средств.

В настоящее время возводится множество временных сооружений из традиционных конструкций. Эксплуатируемые лишь сезонно, они или разрушаются без присмотра в несезонный период, или требуют бесполезных затрат на содержание. Поэтому уже давно имеется потребность в легких, мобильных, трансформируемых сооружениях.

Трансформируемые складчатые покрытия могут быть самых различных форм — сферические, конусообразные, типа гиперболического параболоида и т.д., что позволяет их использовать для различных функций (рис. 98). Одновременно из них можно образовывать интересные и живописные ансамбли.

Другой вид трансформируемых систем — упругогибкие. Эти системы в противоположность предыдущим, которые можно назвать мгновенно-жесткими, всегда находятся в той или иной степени состояния упругости (напряженности). Простейшая модель такой системы разработана в ЦНИИТИА (авторы Ю.С.Лебедев, С.В.Ермаков). Она состоит из упругой (резиновой или пластмассовой) трубки и протянутой внутри нее венты, один конец которой выходит из трубки и соединен с натяжным устройством, а другой закреплен на противоположном конце трубки (рис. 99). Натяжение венты при помощи привода (общего или раздельного) создает дополнительное напряжение в трубке и одновременно изменение ее формы — регулируемый изгиб различного радиуса (рис. 99,а).

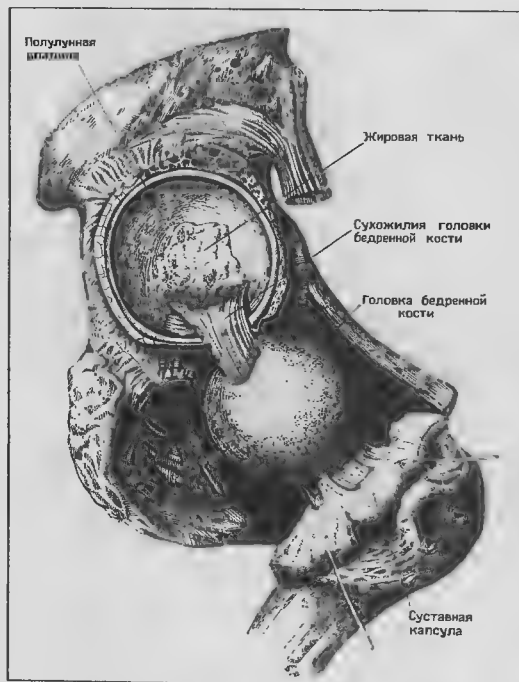


Рис. 101. Природный аналог формы — гриб

Рис. 102. Стержневантовые системы с шарнирами. Природный аналог — соединение бедренной и тазовых костей человека (тазобедренный сустав). Суставная капсула разрезана и головка бедренной кости выведена из вертлужной впадины

Модель упругогибкой системы заимствована из жвой природы. Один из ее прототипов, так называемая "твердая мозговая оболочка", — упругоэластичная трубка, проходящая внутри позвоночного столба человека, и расположенные внутри нее упругие, подобные вантам, волокна-сосуды, называемые "конским хвостом". Последний связан анастомозами со стенками трубки и одним концом прикреплен к копчику, образуя в итоге предварительно напряженную систему. В результате движения человека возникает взаимодействие трубки и "конского хвоста", позволяющие им оперативно прис-

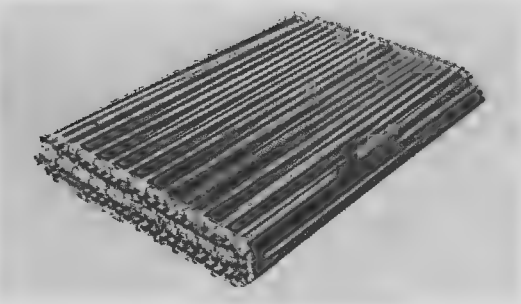
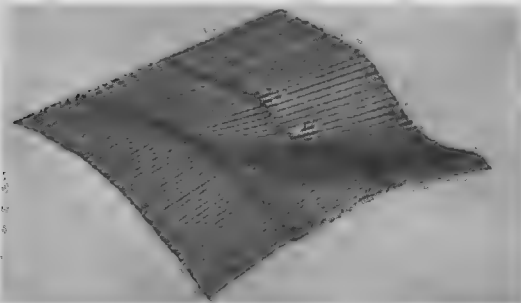
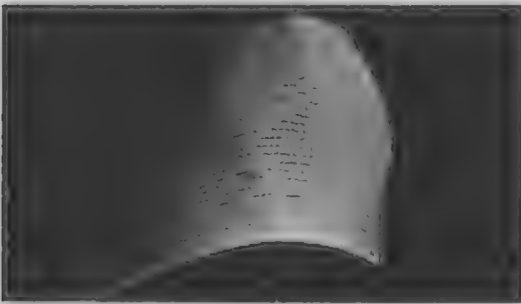
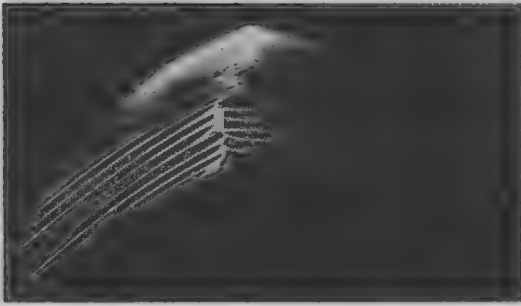


Рис. 103. Ребристый лист пальмы

Рис. 104. Гофрированный лист бумаги в согнутом состоянии

Рис. 106. Конструкции в нерабочем (ненапряженном) состоянии; в сложенном для транспортировки виде

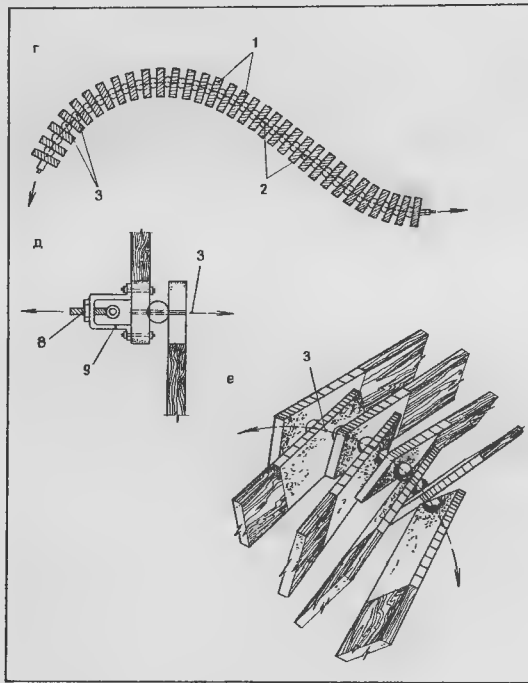
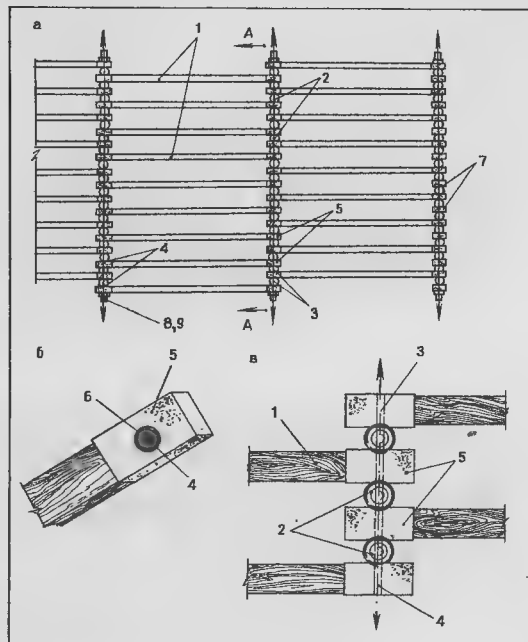


Рис. 105. Процесс конструирования с применением деревянных балок
а — конструкция секций, совмещенных с плоскостью (вид сверху); б — конец балки с металлическим оголовником; в — фрагмент соединения балок в плане; г — разрез по А-А при изогнутом положении секции; д — регулирующее вантовое натяжное устройство; е — аксонометрия соединения

двух секций: 1 — балки, 2 — пустотелые шаровые шарниры; 3 — ванты (металлические канат, трос); 4 — отверстия в концах балок и в шарнирах; 5 — оголовник; 6 — сферические углубления для шаровых шарниров; 7 — металлические вставки в крайних элементах конструкций; 8 — вантовое натяжное устройство; 9 — упор

посабиваться к пространственным изгибам позвоночного столба (рис. 99,б).

В растительном мире также наблюдается подобная упругогибкая система. Разрежьте черешок листа подорожника и потяните разрезанные дольки в противоположные стороны — вы увидите, как за ним потянутся упругие нити сосудисто-волокнистых пучков (рис. 99,в).

Система черешок-пучки обладает способностью во время роста и действия ряда метеорологических факторов изгибаться и придавать пластинке листа положение, наиболее выгодное для освещения и восприятия нагрузок.

Предлагаемая нами система преднапряженных вантами трубок-балок, расположенных на определенном расстоянии друг от друга и покрытых сверху тонкой оболочкой (тентом, пленкой и т.д.), образует трансформируемые открывающиеся, закрывающиеся и меняющие свою форму покрытия (рис. 100). Конструкция такого трансформируемого покрытия может быть собрана из плотно сомкнутых (рядом установленных) и связанных между собой труб, изогнутых в различные формы, в том числе арки и полуарки.

Перемещением ванта у основания трубы в ту или другую сторону можно изменять направление наклона и форму изгиба трубы, осуществляя таким образом разнофункциональное использование сооружений (например, в одной части полуоткрытое, а в другой — закрытое) и проветривание. Натяжением пропущенной к концу трубы наружу из какой-либо ее части ванта можно еще более разнообразить формы сооружений (см. рис. 100).

Конструкция предлагаемого упругогибкого перекрытия довольно проста в производстве и не требует изготовления и сборки большого числа деталей с их стыковочными узлами. Она может быть использована не только как конструкция покрытий, но и в качестве механизма автоматически открываемых дверей, окон, жалюзи и т.д., для монтажа легких тентовых покрытий.

Конструкция обладает способностью к обратной трансформации без необходимости поддувки воздуха для сохранения жесткости конструкции, как, например, это делается в надувных конструкциях. Не требуется наличия источника подачи энергии. От обычных вантовых конструкций она отличается совокупностью одновременных усилий эластичных труб и напряженности вант, что способствует значительной экономии металла. Одновременно повышается сохранность металлических вант от коррозии, увеличивается противопожарная надежность.

Соединением в одном конструктивном элементе ванты и трубы при плотной их упаковке обеспечивается по сравнению с обычными вантовыми конструкциями одновременное сочетание несущих и ограждающих конструкций (принцип гетерогенности).

Действие упругогибких трансформируемых систем может быть относительно легко автоматизировано с установкой на одну или несколько программ, например солнце-ветрозащита, регуляцию температурно-влажностного режима и т.д., т.е. так же, как это происходит в живой природе (рис. 101).

Еще один вид трансформируемых конструкций, разработанный в лаборатории архитектурной бионики ЦНИИТИА, — это шарнирно-стержневые конструкции (автор Ю.С.Лебедев, В.В.Тишин). Они относятся к "самовозводимым", "самонапрягаемым" гибким покрытиям (1978 г.). Эта конструкция оригинальна и не имеет себе подобных в современной практике. Ее собирательный смысл заимствован из ряда объектов живой природы с определенной творческой их интерпретацией — грудная клетка с позвоночником человека и животных, система: стебель и вращающиеся

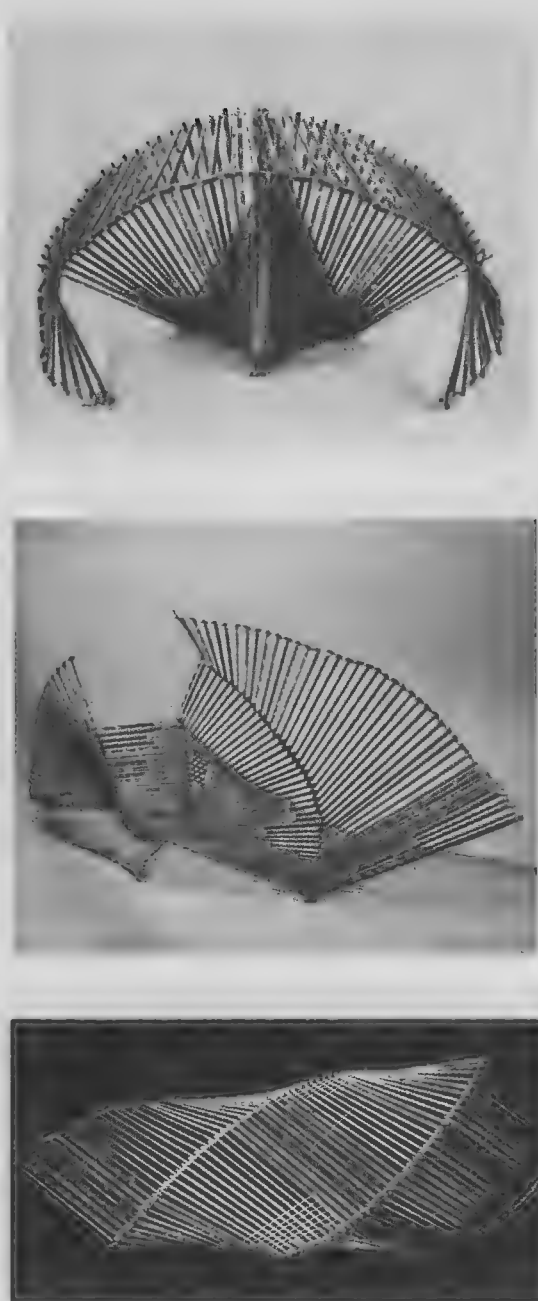


Рис. 107. Варианты конструкций покрытия в напряженном состоянии на основе вышеприведенной трахсекционной основы

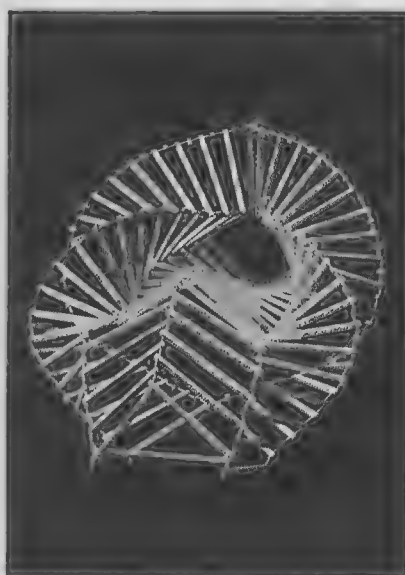
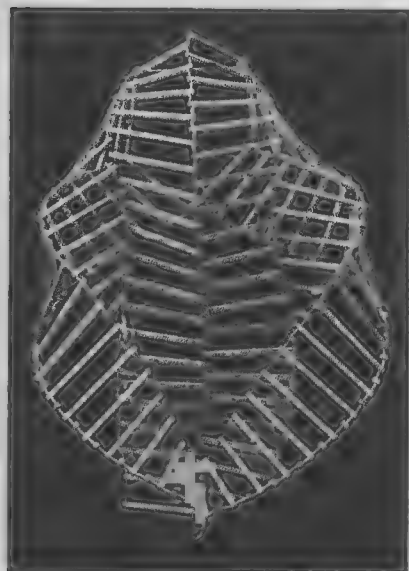
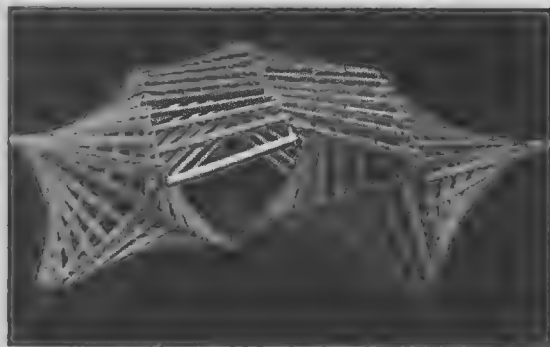
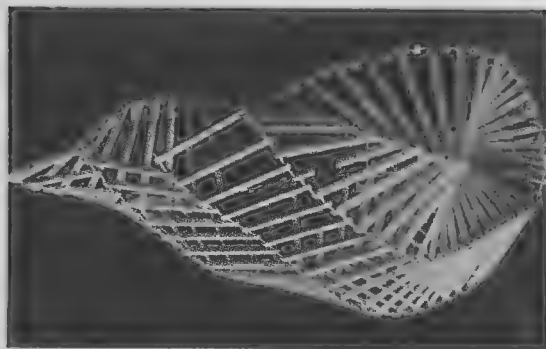
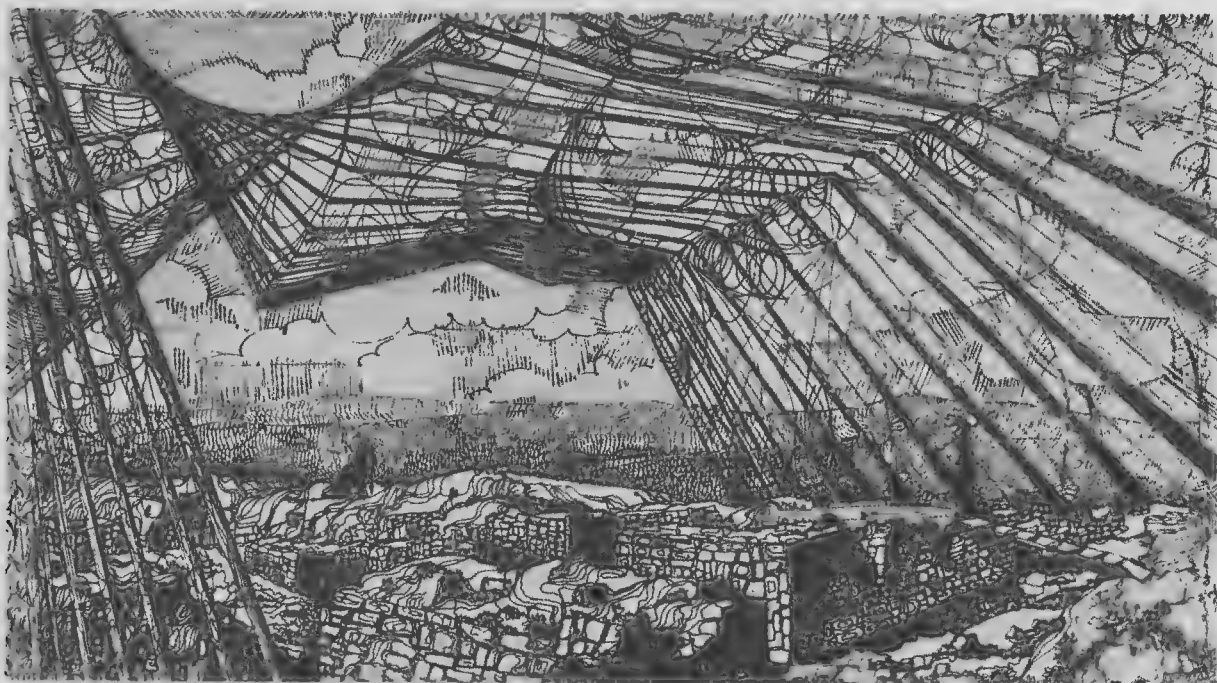


Рис. 108. Варианты конструкции на основе семисекционной структуры. Конструктивная идея — архит. Ю.С. Лебедев, лаборанты В.И. Тимофеичев и В.Ф. Смирнова

Рис. 109. Старжневантовая конструкция в качестве покрытия над археологическими раскопками. Проектное предложение архит. А.Ю. Лебедева



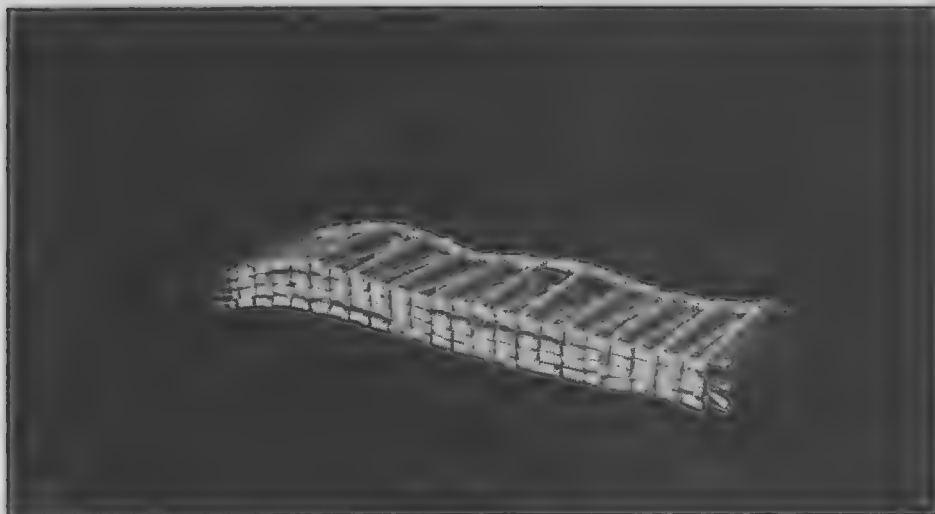
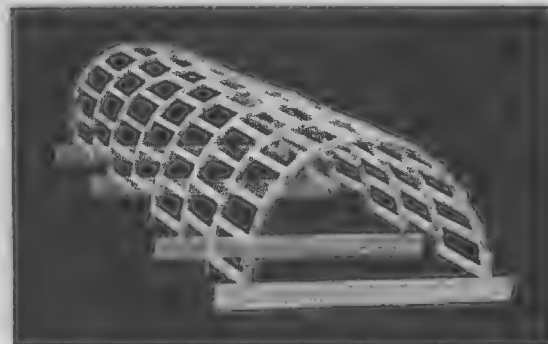
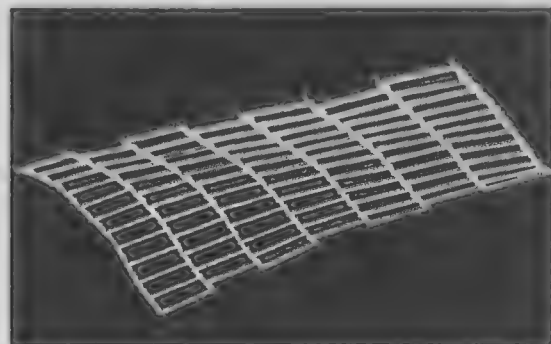
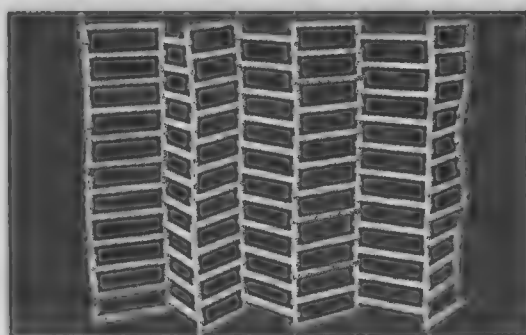
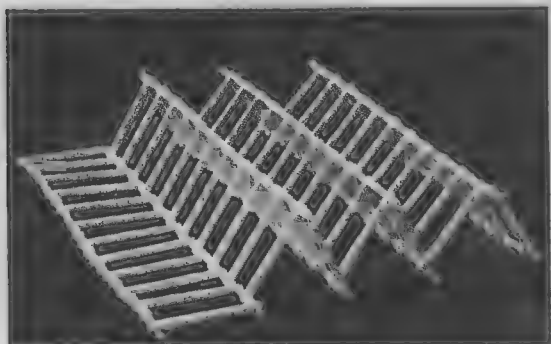


Рис. 110. Конструкция с кубическими шарнирами. Конструктивная идея Ю.С. Лебедева; конструкция узла лаборанты В.И. Тимофеичев, В.Ф. Смирнова)

а — в сложенном состоянии; б — в процессе приведения в рабочее состояние; в — в приведенном к рабочему состоянию виде



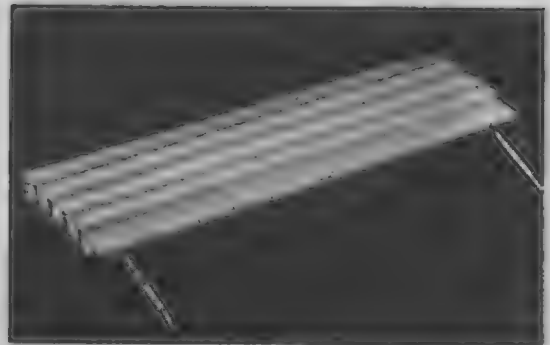
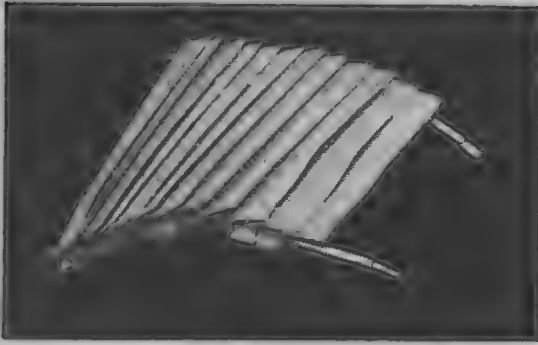
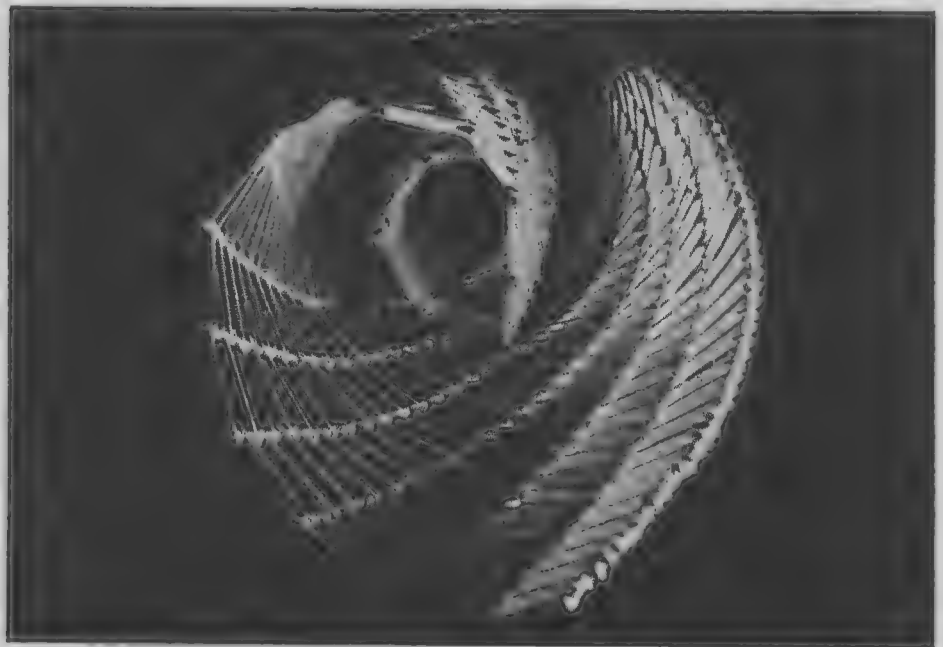
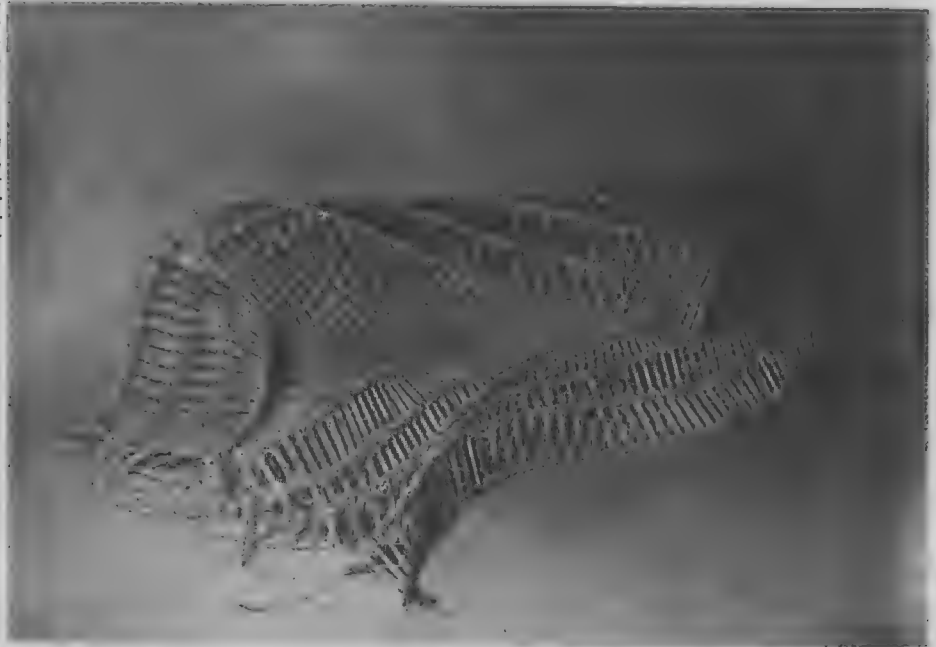


Рис. 111. Варианты соединения конструкции с покрытием (предложение В.И. Тимофеева): деревянное покрытие; покрытие из крошечного шалота

Рис. 112. Многосекционная конструкция (Ю.С. Лебедев, В.И. Тимофеев, В.Ф. Смирнова): конструкция в нерабочем состоянии; конструкция преднатянута и закручена в спираль



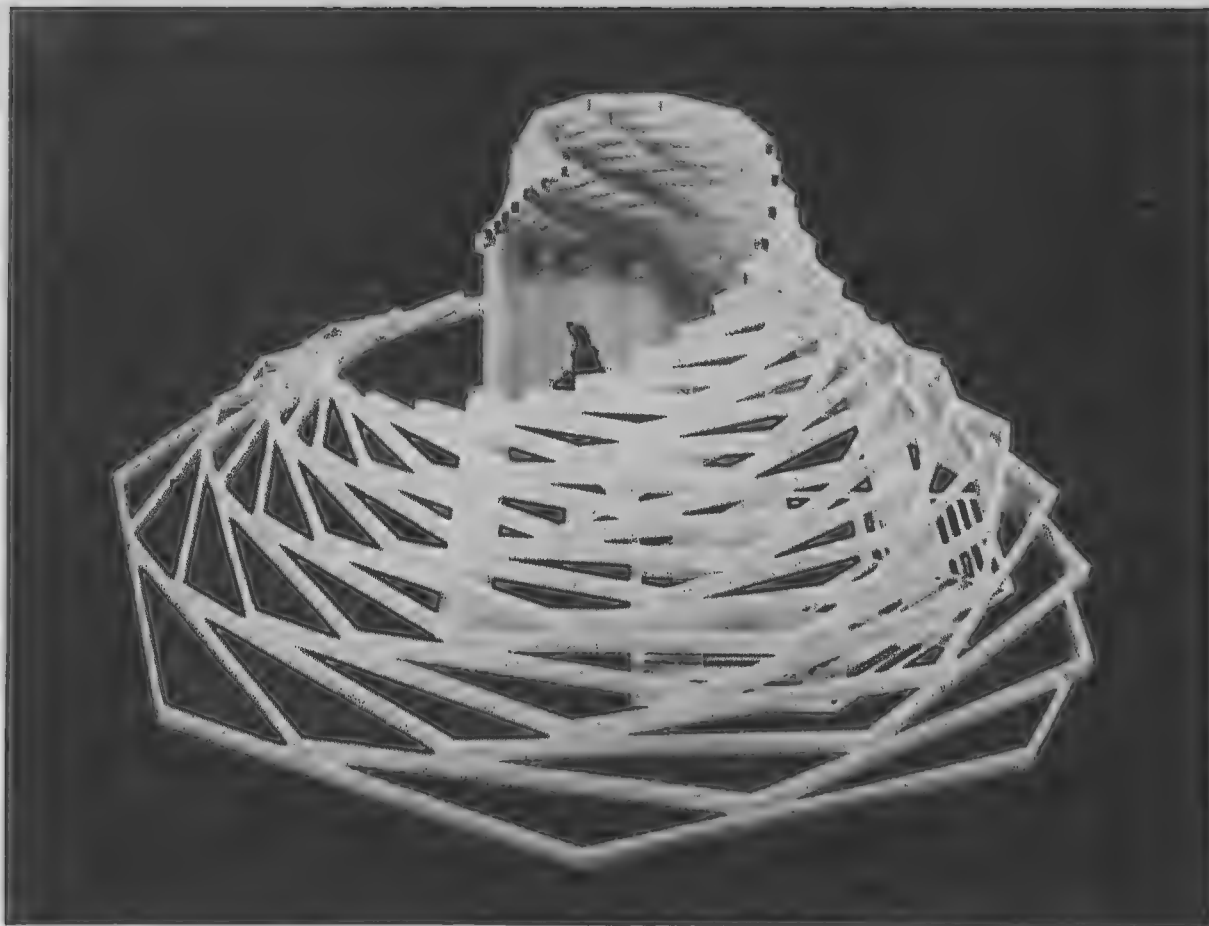


Рис. 113. Складывающаяся по спирали трансформируемая стержневая конструкция. Конкурсный проект Мемориала к 150-летию воссоединения Армении и России. Авторы: О.М. Вартанян, А.К. Мхчтрян

вокруг него вслед за солнцем листья белой акации; соединение фаланг пальцев кисти руки человека с пястными костями в сочетании с хрящами, мышцами, сосудами и др. (рис.102); ребристые листья пальмы (рис. 103) с аналогом — изогнутым гофрированным листом бумаги (рис. 104). Изломы последних позволяют использовать обратную логику конструирования: идти от разрушений к конструкции и "лечить" разрушения не их замоноличиванием, а путем включения шарниров.

Предлагаемое самонапрягающееся покрытие, состоящее из редко расположенных деревянных, металлических и других видов балок или реек благодаря специально устроенным гибким поперечным связям — вантам, может приобретать различные пространственные криволинейные формы, фиксируемые в жесткое устойчивое положение специальным натяжением вант. Оно отличается также тем, что покрытие, изготовляемое промышленным способом, может в зависимости от размеров — по секциям или целиком — транспортироваться в сложенном, компактном состоянии с заводов к месту строительства.

На рис. 105 шарнирно-стержневая конструкция схематично изображена в различных проекциях: на рис. 106 конструкция представлена в свободном (а) и в сложенном для транспортировки (б) состоянии; на рис.

107—113 — возможные варианты стержневых трансформируемых форм покрытий.

Самонапрягающееся покрытие в состоянии, совмещенном с горизонтальной плоскостью, состоит из секций (а, б, с), образованных деревянными балками — рейками (1), расположенными параллельными рядами на некотором расстоянии одна от другой. Секции соединены между собой по краям торцов так, что балки одной секции несколько заходят между балками другой секции (например, секции б и с на рис. а и балки на рис. б). Между балками размещены шаровые шарниры (2). Через отверстия (4) в концах балок и шаровых шарнирах пропущены ванты (5). Таким образом, возникает гибкое соединение секций, а одна секция по отношению к другой получает в процессе формирования покрытия возможность свободного движения не только вокруг оси поперечно к ним расположенной ванты, но и в поперечном направлении, а каждая балка — также вокруг своей продольной оси, что в итоге позволяет получить различные формы криволинейных поверхностей.

Для предотвращения смятия шаровыми шарнирами торцов деревянных балок на последние надеты металлические оголовники (5); с боковых сторон которых, в местах отверстий (4), сделаны небольшие сферические

вмятины для центрации шаровых шарниров и снижения напряжений поперечного среза в вантах в рабочем состоянии покрытия.

Конструкция приобретает запроектированную пространственно-изогнутую форму за счет комбинаций натяжения вант в стыках секций покрытий. Его возможные геометрические формы — цилиндр, гиперболический параболоид, коноид и их варианты, а также другие, нам еще неизвестные формы. Очень важно здесь то, что на основе прямолинейных образующих — балок формируются сложные пространственные криволинейные поверхности.

В отдельных случаях для фиксации может возникнуть необходимость устройства под покрытием временных телескопических подпорок.

Фиксированная пространственная конструктивная форма закрепляется у основания, покрывается традиционными кровельными материалами, пластиками, а при строительстве легких, временных сооружений — бассейнов, оранжерей, выставочных павильонов — прозрачной или полупрозрачной пленкой. Кровля фиксирует жесткое положение конструкции.

В конструкции покрытия деревянные балки могут быть заменены легкими алюминиевыми, стальными, железобетонными и пластмассовыми ригелями.

В случае строительства легких, временных сооружений возможно многократное использование самонапрягающихся конструкций покрытия. Область их применения — сооружения капитальных и временных типов: стадионы, выставочные павильоны, климатроны, кафе, рестораны, концертные залы, манежи, танцплощадки, оранжереи, парники, складские помещения и т.д.

Конструкция предлагаемого самонапрягающегося пространственного покрытия имеет следующие преимущества:

может приобретать без введения новых конструктивных элементов различные формы, что расширяет диапазон ее функционального использования и способствует поискам новых эстетических свойств архитектурных форм;

может применяться как для больших, так и для малых форм сооружения, для сооружений капитального и временного типа;

конструкция благодаря простоте формы ее элементов (основу составляют прямолинейные деревянные и другие балки-рейки) может быть индустриально изго-

товлена и транспортироваться в сложенном, компактном состоянии: для сооружений больших размеров — посекционно, а при малых формах — целиком сооружением;

дает возможность использовать широко распространенные в современной практике строительства недефицитные местные строительные материалы, а также отходы деревообрабатывающей промышленности.

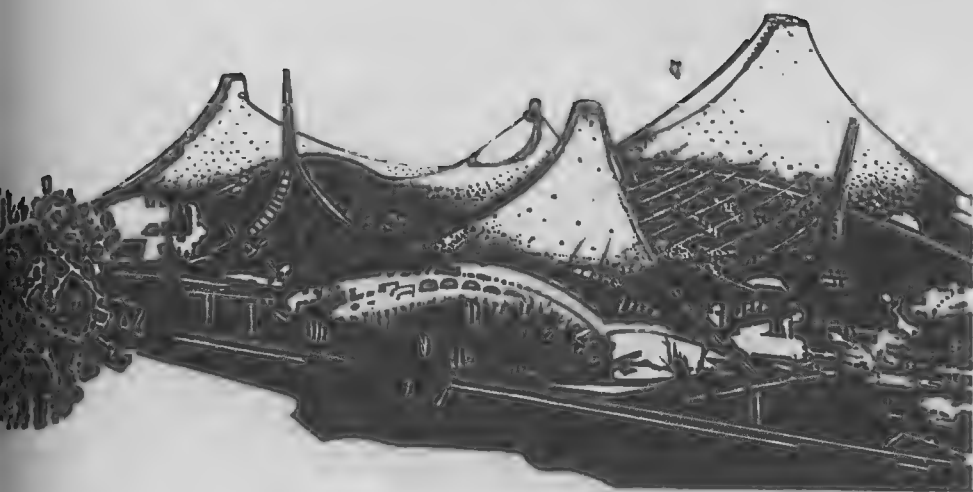
В итоге предлагаемые конструкции при их больших функциональных и эстетических возможностях, экономии сил на заводское изготовление, экономии строительных материалов при одновременном рациональном использовании местных материалов, быстром возведении конструкций на строительных площадках, возможности их многократного использования оказываются чрезвычайно перспективными.

В нашу эпоху трансформируемые конструкции, обладающие динамизмом приспособляемости к жизни, могут органично войти в ткань градостроительной структуры города, который сейчас не случайно называют живым организмом. Не все архитектурные элементы города должны обладать временной инерционностью и строиться на века в качестве культурной и художественной эстафеты будущим поколениям. Многие сооружения быстро становятся неудобными для их использования человеком, например довольно быстро морально устаревают жилые ячейки, спортивные сооружения, производственные здания, школы, многие транспортные сооружения и т.д. Благодаря же использованию динамических структурных элементов город будет развиваться более экономично и рационально. Его зачастую нежелательный рост будет сдерживаться, а развитие пойдет по пути не столько количественных, сколько качественных преобразований. Так, на каком-то этапе рост любого живого организма прекращается, однако жизнь его продолжается, происходит замена отмирающих элементов новыми, их восстановление. Город должен развиваться не механически путем наслаивания и простого сложения частей, в результате которого сохраняются архитектурные элементы, своей консервативностью мешающие людям правильно организовать нынешнюю жизнь, а на основе постоянного обновления, выбрасывания из своего организма мертвых тканей и замены их новыми, сохраняя при этом для потомков ценности искусства — архитектуры, значительные элементы культуры города.



Глава 8

ПРАКТИКА
СТРОИТЕЛЬСТВА
ЛЕГКИХ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ
НА ОСНОВЕ
БИОНИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



БИОЛОГИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВО*

С Фреем Отто советских биоников связывает творческая дружба, которая реализуется в совместных организациях выставок, публикациях, обменах мнениями и т.д. В 1983 г. была проведена совместная выставка в Москве. Организация таких выставок намечается и в будущем.

Несмотря на немногочисленность, штутгартская группа "Биология и строительство" (ФРГ) занимает в междunarодной науке единственное в своем роде место. Здесь работают ведущие биологи, архитекторы и инженеры. Группа была организована в 1961 г. Ее цель — работать в условиях максимальной связи биологии, техники и строительного искусства. До недавнего времени используемые научные методы были односторонни и зачастую выхолащивались в тривиальные аналогии. Сегодня все это выглядит иначе, в чем немалая заслуга группы. Раньше часто говорили и писали: "образцы природы окрыляли мастеров прошлых времен". Группа доказала, что техника до сегодняшнего времени в основном была антиподом природы. Человек боялся сил природы и защищал себя от них постройками, архитектурой. Он защищает себя с такими усилиями, что уничтожает при этом и природу. В 1961 г. Фрей Отто организовал на эту тему семинар в Западном Берлине для студентов, интересующихся этой проблемой. Они привели его к Иоганну Герхарду Хельмке, в то время ординатору по биологии и антропологии в Политехническом институте и руководителю кафедры цитологии и микробиологии в Макс-Планк-Институте (Max-Planck-Institut). И.Г. Хельмке — ведущий в мире знаток диатомей, тех незаметных живых существ, которые формируют очень прочные скорлупы-оболочки в воде. Хельмке поставил перед собой задачу привлечь в биологию инженеров. Он попытался не только осуществить интерпретацию скелетов и оболочек, но и найти ответ на вопрос, как возникает живой объект, каким образом он "монтируется" природой. Его интересы связаны с физико-техническими процессами, в результате действия которых возникают эти структуры. Он установил, что такие процессы знакомы строительству (область легких конструкций) и самолетостроению. Особенно это относится к большепролетным оболочкам и решетчатым конструкциям, которые при относительном рассмотрении значительно легче, чем легчайшие конструкции самолетов.

Хельмке и Отто решили соединить имеющиеся знания в области строительства из легких конструкций, биоло-

* © Otto F., Ocken H. (BRD).

В этой главе помещены материалы по проблемам морфологической связи архитектуры и живой природы, разрабатываемые Институтом легких покрытий (ИЛ-ИЛ) Штутгертского университета, созданным в 1964 г. и возглавляемым известным архитектором Фреем Отто.

Никто в мире не имеет таких практических успехов в области "естественного строительства" (*Natürlich Bauen*), какие достигнуты Институтом легких покрытий. Результаты научных исследований этого института внедряются в практику архитектуры и строительства во многих странах мира. Под руководством института на основе исследования покрытий сетчатых конструкций созданы такие грандиозные сооружения, как павильон ФРГ на ЭКСПО-67 в Монреале и Олимпийский стадион 1972 г. в Мюнхене, не говоря уже о многочисленных других постройках в ФРГ, США, Англии, Кувейте и т.д.

В связи с тем что работа, проводимая ИЛ, уникальная, мы помещаем ниже не только характеристики выполненных институтом работ, подготовленные сотрудниками ИЛ, но также и соображения этих архитекторов и ученых в области теории и методологии естественного строительства.

Статьи написаны Фреем Отто, Корнелиусом Тивиссеном, Эдой Шаур, Юргеном Хеннике, Бертольдом Буркхардтом, Хейда Дрюседау, Рейнером Грефе, Хейделоре Оккен и переведены с разрешения авторов журнала "Deutsche Bauzeitung", 1980, № 9.

Ю.С.Лебедев

гии и архитектуры, чтобы прочитать по этим вопросам курс лекций.

Штутгартские специалисты, занимаясь исследованием и созданием легких конструкций, обращаются к имеющемуся опыту строительства, к живой и мертвой природе.

К группе вскоре примкнули ботаник Шилль, палеонтолог Зейлахер, зоолог Кульман, цитологи Берейтер-Хан и Шефер со своими сотрудниками Гутманом и Боником, биофизик Нахтигаль, а также исследователи поведения животных Айбль-Айбесфельд и Шифенхофель. В первую очередь необходимо было понять, как происходит становление, рост и существование объектов живой природы готовыми для использования в технике. Широко распространенная половинчатая правда, что все объекты живой природы оптимальны, уже принесла немало вреда. Требование рассматривать природу лишь как объект технических открытий, что исключительно спорно, заводит в итоге в тупик.

Всем участникам ясно было и ясно сейчас, кто изучает живую природу с единственной целью ее использовать, тому она не откроется; достигнет успеха лишь тот, кто исследует первопричины и процессы без "меркантильных" намерений.

Конструкции живой природы, как правило, неописуемо сложны. Объекты живой природы оптимизировались в течение миллионов лет благодаря мутациям и отбору. Так идеально создавать конструкции пока не может ни один архитектор, никто не может так красиво строить — в лучшем случае возможна лишь имитация. Изумление охватило рабочую группу, когда в некоторых ранее созданных полностью независимо от природных (образов) легких конструкциях обнаружилось большое сходство с биологическими объектами. Так, неизвестным был факт, когда в 1962 г. Хельмке и Отто в Макс-Планк-Институте показали Букминстеру Фуллеру — автору "геодезических" куполов — новейшие стереоскопические фотографии скорлуп-оболочек диатомей, которые, будучи увеличены в 5—50 тыс. раз, выглядели как модели его знаменитых куполов. Участникам работы стало ясно: если бы Фуллер знал ранее конструкцию оболочек диатомей, возможно, он не отказался бы строить свои оболочки. Потрясение вызвало многообразие формы — более 40 тыс. видов Фуллер в то время как раз построил свой прекрасный купол для Всемирной выставки в Монреале.

Объекты живой природы предельно комплексны. Несмотря на все проведенные исследования, мы до сих пор знаем их далеко недостаточно. Кто бы мог представить себе скорлупы определенных диатомей размером 0,3 мм увеличенными в сотни тысяч раз и превращенными в прочные конструкции? В случае с паутиной ситуация сходная. В рабочей группе ФРГ, сосредоточенной вокруг Фрея Отто, все шло таким же образом, как и у Букминстера Фуллера. Она строила начиная с 1953 г. палатки, развивала теорию легких конструкций и создавала большие преднапряженные сетки-покрытия.

Если сегодня корреспонденты пишут об этой группе, то они охотно утверждают, что палатки на швейцарской сельскохозяйственной выставке в Лозанне 1963 г., павильон ФРГ в Монреале и последующее Олимпийское сооружение в Мюнхене, не что другое, как копия паутины паука. В действительности же картина была иной, когда набрасывались эскизы легких сооружений, когда они конструировались, статически прочитывались и испытывались, виновник — паутина — была знакома специалистам не больше, чем любому дилетанту. Когда же новая техника конструирования сетчатых покрытий достигла определенной ступени развития, стало возможным посмотреть на паутину паука достаточно квалифицированным взглядом и их различать. Боль-



Рис. 1. Интерьер Института легких конструкций Штутгартского университета. Сетчатое покрытие здания с капитальной кровлей

шим помощником при этом был Эрнст Кульман, директор Кёльнского зоопарка. В паутинах архитекторы еще раз открыли то, что они "изобрели" для строительства на основе сетчатых конструкций. Теперь они ставят перед Кульманом задачи по дальнейшему исследованию паутины паука. Так, Кульман фотографировал узлы пересечения нитей паутины и места их прикрепления. Возникло новое, фундаментальное знание.

На основе опыта исследования оболочек и сеток для всех членов группы родилось правило: если технология и особенно знания "принципов строительства из легких конструкций" достаточно известны, тогда можно лопнуть объекты живой природы в отношении их формы и структуры¹.

Живая природа оптимизировала их несущую способность с минимальным использованием материала. Биологические структуры не оптимизированы с точки зрения общественной экономики и денежных издержек: если их воспроизводить копируя, то они в большинстве случаев будут бесконечно дорогими.

Появилась необходимость выработать единую методику, которая помогла бы все объекты мертвой и живой природы и техники сравнивать между собой. Потребовалось определить, в каких объектах силы

выдерживаются большей массой, а в каких — меньшей. Не вызывают сомнения те объекты, которые сопротивляются действующим силам меньшей массой, — это атомы, звезды, солнечная система. Все же большие объекты должны строиться относительно легкими. В грандиозном царстве между атомом и Вселенной находится Земля — относительно маленький объект и живая природа с размерами от 0,0001 мм до 150 м (у высочайших деревьев) — опять-таки лишь незначительная часть земного мира.

Известный натуралист-фотограф Андреас Фейнингер по профессии архитектор начал по-настоящему измерять несущую способность объектов живой природы. Он соорудил приборы и испытывал на разрыв нити паутины и другие природные конструкции и материалы.

Штутгартская группа уже давно создала теоретический фундамент и установила для различных объектов метод определения относительных изменений массы, названный в целом Биц (Bic)¹. Группа установила, что лишь немногие объекты техники имеют такую же небольшую массу, какая возможна в объектах живой природы. Так, всего-навсего около 30 лет назад человек смог изготовить нити, аналогичные по прочности и легкости волокнам хлопка, шелка и шерсти.

Созданные человеком опоры, балки, применяемые в строительстве, в корабле- и самолетостроении, до сегодняшнего дня являются существенно большими

¹ Сказанное не противоречит методике архитектурной бионики, раскрытой в первых главах книги. Здесь упускается из виду первоначальная, часто не совсем осознанная идея принципа или формы, взятых из живой природы (идея сетчатых конструкций могла быть навеяна паутиной паука). Правильнее, по нашему мнению, обоюдный подход (Примеч.-Ю.Л.).

¹ Этому методу будет посвящен ниже специальный параграф. (Примеч. Ю.Л.).

по массе, чем аналогичные им естественные объекты. При этом живая природа совсем даже не безгранично оптимизирована. Она обладает очень небольшим ассортиментом материала: белок и известь¹. Техника оперирует прежде всего металлами.

Объекты живой природы весьма различны по форме. Материал сложился более или менее в рамках возможных биохимических процессов. Форма здесь оптимизируется миллионы раз.

Чтобы изучить формы и структуры живых объектов, надо знать историю их развития. Особенно внимательно следует отнестись к тем высокопрочным строительным элементам, из которых состоит живая природа: это клетки и их предки, неживая микросфера, которую, впрочем, несложно при определенных усилиях смоделировать. Однако нельзя рассматривать клетку изолированно; она может функционировать лишь во взаимодействии с условиями окружающей среды — "всей природы".

Штутгартская исследовательская группа до настоящего времени написала две книги: "ИЛ-9" и "ИЛ-19" ("IL 9" и "IL 19"), в которых делаются важнейшие выводы о том, что все объекты живой природы имеют лишь одну конструктивную систему, состоящую из текуче-мягкого наполнения и сопротивляющейся на растяжение гибкой пленки — кожи. Это касается как растений; животных, так и всех микроорганизмов. Такая схема миллионы раз комбинировалась. В архитектуре это означало бы (если бы имелся один и тот же строительный метод), например, строительство на основе кирпича, из которого создавались бы дома, дамбы, мосты, а также упаковки для молока, мешки для песка, пакеты и т.д.

В ближайшие годы группа будет проводить дальнейшие исследования с целью установить, что же в действительности можно называть легким в живой природе, какие структуры в технике имеют малую массу и малые затраты энергии. Несомненно, уже достигнуты большие успехи; архитектура и инженерная наука впервые в значительной степени освоили биологию. Многие знания ранее отсутствовали, например объяснение прочности и вместе с тем хрупкости скорлупы птичьих яиц. Установлено, что это необходимо для противодействия вакууму, который требуется для того, чтобы внутрь яйца мог поступать воздух для дыхания нарождающегося птенца.

Появятся разъяснения — по поводу создания пены диатомеями и превращения ее в прочные оболочки. Имеются уже новые разъяснения формообразования кишечника и сосудистой системы, будут открыты те силы и условия, которые формируют растения и деревья. Сейчас выдвинуто много новых гипотез, которые одна за другой проходят проверку.

Результаты дальнейшего развития знаний принципов строительства из легких конструкций настоятельно требуют вновь обратить внимание на равенство экономии материала и энергии, чтобы можно было бы строить здания при их одинаковых функциональном назначении и надежности, только на основе одного элементарного материала или вида энергии. Границы возможностей трудно предсказать.

Интересующиеся дилетанты спрашивают: почему архитекторы не строят так органично, как природа? Ответ может быть только один: поверхностное подражание природе не даст положительного результата. Необходимо оставаться в рамках возможного, понимаемого и изученного. Цель тех немногочисленных архитекторов, которые хотят возводить здания на

основе законов природы, — не строить их подобно органам живых организмов или телам животного с тем, чтобы они выглядели натуралистично, а руководствоваться большой задачей — строить дома и города так, чтобы они были естественными, чтобы дома и города вместе с растениями и животными образовали естественный биотоп (Biotop), чтобы человек и его техника превратились в неотделимую часть природы. Если это будет достигнуто, тогда станет возможным перенесение знания о природных структурах на технические структуры. Подтверждения этому уже имеются, хотя и очень редкие.

КОНСТРУКЦИИ В НЕЖИВОЙ ПРИРОДЕ*

Видимые формы в неживой природе — галактика, формы волн, глетчеры, капли жидкостей и многое другое, ставшее для нас фенотипом внутри одного определенного канона — мира и ощущаемое как нечто знакомое, по-видимому, вследствие того, что независимо от размеров, физического состояния и времени, управляет определенным жизненным "репертуаром". С точки зрения геометрии, имеются типовые основополагающие образцы, которые встречаются повсеместно: это спирали, ветвления под углом 120° на плоскости и узлами из трех ветвей; под углом 109°28' в пространственном образовании и узлами, в которые сходятся четыре ветви; в плоскости формирующиеся шестиугольники, пятиугольники, многоугольники; окружности; сферы. В этих геометрических данных заложена идея минимизации — меньших поверхностей, наименьшего расстояния между двумя или большим числом точек, плотная упаковка множества отдельных элементов, вместе с активизирующей тенденцией интеграции систем (рис. 2).

Однако такие абстрактные геометрические разъяснения протекания процессов в природе вряд ли могут обрисовать истинное положение вещей. Линии разрушения базальта или система завихрений в грязевых потоках отвечает лишь приблизительно идеальным формам минимальных сложных сеток, имеющих угол 120° и узел из трех ветвей. Материал затвердевает нерегулярным образом на основе схватывания. Он не может вести себя так же, как жидкость с двухосным равномерным распределением давления. Маленькие падающие капли дождя тоже не идеально круглы, как шарики, так как здесь играет важную роль собственный вес, сила гравитации (рис. 3). И все же совершенно отчетливо прослеживается тенденция к созданию типовых форм. Мы рассматриваем здесь формы природы в их материальном аспекте. С этой точки зрения мираж или молния также связаны с материальными явлениями. Это объекты, которые могут переносить силы и при этом являются конструкциями с их специфическими конструктивными свойствами. Массы в каждой форме при ее агрегатном состоянии образуют систему, состоящую из более или менее плотных упаковок, вплоть до полностью неорганизованного состояния свободно двигающихся частей. Система строит себя в соответствии со степенью упорядоченности: кристаллы — по их внутреннему закону отталкивания и притягивания ионов; свободно перемещаемые, катящиеся, текущие неоднородные частицы, такие, как песок и галька, пустая порода, превращаются в насыпи. В конце концов, большие массы на основе закона притяжения становятся горными образованиями и планетами.

Мы знаем такие спиральные скопления, как галактика или вихри, когда центробежная сила направлена противоположно силе гравитации (рис. 4). Нам зна-

¹ Добавим, что в живой природе из неорганических материалов широко используются также кремнезем (радиолярии и т.д.) (Примеч.—Ю.Л.).

* © Thywissen C., Schmal I., Schneider R. (BRD).

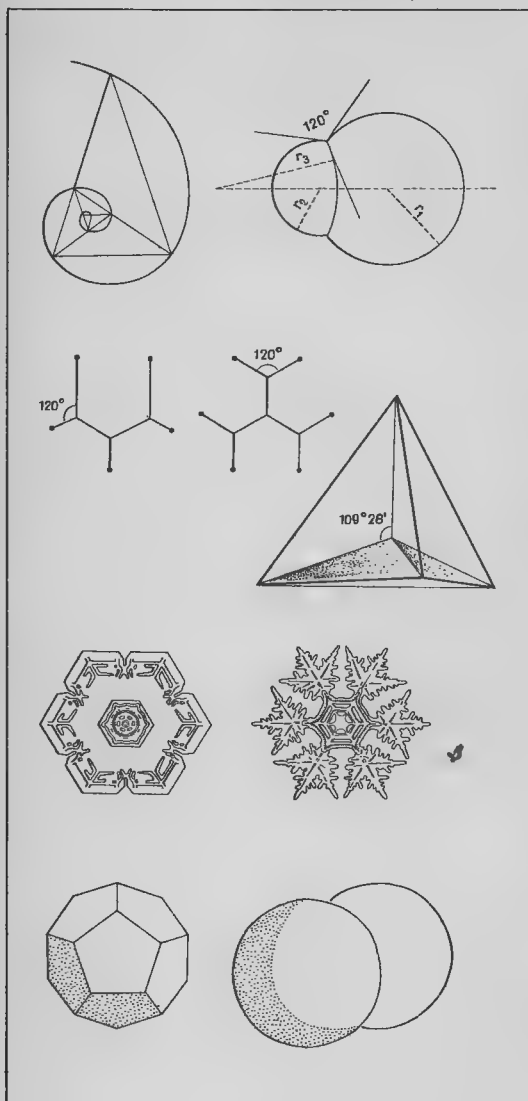


Рис. 2. Типичные формы природы: спираль; соединение пузырьков; сотовые системы, состоящие из шестигранников; тетраэдр; снежинки; додекаэдр (правильный 12-гранник, состоящий из 12 правильных пятиугольников); шар и круг

комы насыпные конусообразные образования, в которых сопротивление трению текучего материала соответствует углу конуса. Насыпной конус — это и вулканы, и высокие горы, и кучи из гальки. Конструктивная форма здесь образуется самопроизвольно в соответствии со свойствами материала и массы материала.

К другим конструктивным формам относятся линейные и подвижные формы — реки и протоки в морских отмелях, меандровые формы излучины реки. В этой области было проделано много геометрических



Рис. 3. Капля жидкости

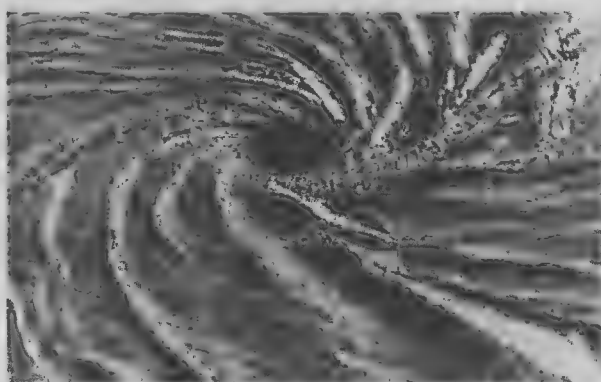


Рис. 4. Динамические формы. Круговорот волн

и физических опытов; современная геология пыталась раскрыть эти закономерности посредством теории информации, ЭВМ и математики. Применялось здесь и правило золотого сечения в соответствии с рядом Фибоначчи, где число ветвей находится в определенной иерархии¹. Волновые формы движения оставляют свои следы в тине, на песке дюн, на воде или в струйке дыма, поднимающейся в воздух. Жидкости создают на пограничных поверхностях с другими средами поверхностное натяжение, которое служит мериллом для форм гидростатических конструкций. Натяжение понуждает форму в целом к образованию возможно минимальной поверхности, при отсутствии действия гравитации — это только шаровид-

¹ О золотом сечении и ветвящихся процессах см. гл. IV.

ная форма. Основные отличительные черты этой конструкции — растянутая оболочка вокруг наполнения. Средой (наполнением) может служить жидкость или газ. Поскольку форма (изменяющаяся в радиальном направлении) и сила (напряженное состояние мембраны) находятся между собой в прямой связи, можно сделать заключение о внутреннем давлении или прочности такой конструкции. Например, внутреннее давление очень маленькой капли воды чрезмерно высоко и может составить многие бары (bar).

В неживой природе системы организуют и регулируют себя в соответствии с внешними и внутренними условиями. Конструктивные формы возникают из самих себя в связи со спецификой их свойств и с постоянной ориентировкой на внешнее окружение. Очевидно, "мертвая" природа характеризуется через этот постоянно изменяющийся потенциал, через окружение, построение и разрушение.

ТЕХНОЛОГИЯ САМОСТРОИТЕЛЬСТВА ЖИВОЙ ПРИРОДЫ*

Тело растения, животного и человека можно рассматривать как самоформирующийся, самостроящийся комплекс конструктивной системы.

В процессе эволюции развитие видов и каждого индивидуума протекает в постоянном изменении внешнего вида их конструктивной формы. Каждое живое существо начинает свой индивидуальный жизненный путь из ничтожно малой клетки — зародыша. Это мягкое, сферическое по форме образование растет и развивается в бесконечном ряду метаморфоз на пути к возникновению сложившегося организма. В генетическом коде заложен лишь один план созидания — "опыт эволюции". Созидание само по себе может совершаться все же лишь только благодаря следованию физическим законам формообразования в границах специфических свойств материала.

Все формы растений, животных и человека развиваются на основе одного единственного конструктивного принципа независимо от почти необозримого многообразия видов и вариаций форм. Этим конструктивным принципом является пневматика.

Пневмоконструкции — это такая система, при которой прочная на растяжение, эластичная оболочка поддерживается азростатическим или гидростатическим давлением (жидкостно-газообразным наполнением). Оболочка и наполнение совместно образуют несущеспособную конструктивную систему.

В технике пневмосистемы известны в виде баллонов, наполненных воздухом, камер для покрышек автомашин, парусов, пневмосооружений.

Специфическая особенность этих конструкций наилучшим образом обнаруживается в общеизвестных технических пневмосистемах. Прочные на растяжение и в то же время гибкие оболочки пневмоконструкций могут выполняться из одного цельного материала, как, например, детские резиновые мячи, или при крупнозернистом наполнителе¹ представлять собой род сетки (каркаса), а также комбинации того и другого. Наполнением могут служить газообразные, жидкостные или гранулированные материалы; в живой природе — преимущественно жидкостные вещества.

Форма пневматических конструкций во многом определяется формой и эластичностью оболочек, а также количеством и свойством наполнителей. Определяющими факторами несущей способности пневмоконструкций служат форма, эластичность, растяжимость и прочность материала оболочек. Идеальная

форма пневмоконструкций — это сфера. Она является результатом равномерного распределения давления в оболочке и блестящим примером уравновешенной (в статическом отношении — Ю.Л.) конструктивной формы. Сферические формы пневмоконструкций образуются почти исключительно из маленьких водяных капель или взвешенных в воде пузырьков, например на первой ступени формирования живой клетки в микросфере. В жизни формы пневматических конструкций почти всегда уходят от формы сферы. Громадное разнообразие форм пневматических конструкций можно значительно расширить дополнительными элементами, например пневматическими сетками. На любое изменение действующих сил пневмоконструкция реагирует изменением своей формы. Если же пневмоконструкции плотно упаковать, то возникнет типичная интегрированная форма, подобная плотно упакованным пузырькам в мыльной пене.

Благодаря этим свойствам пневмоконструкции формируют такую систему, которая может способствовать реализации важнейших жизненных процессов, таких, как рост, изменение формы и движение. Одновременно пневмоконструкция образует замкнутое пространство, в котором могут безопасно происходить жизненные процессы.

Мельчайший элемент жизни — клетка функционирует уже как пневмоконструкция. Относительно прочная на растяжение мембрана заключает в себе желеобразную цитоплазму. При рассмотрении только лишь небольшого числа клеток бросается в глаза различие их форм. Форма клеток так же, как и их изменение во времени, контролируется, предположительно, специальными (специальными отверстиями — Ю.Л.), расположенными в стенках клеток.

И не только отдельные клетки организма представляют собой пневматическую конструкцию. Благодаря дифференциации и специализации клеток возникают их различные комплексы — ткани, в том числе относительно прочные на растяжение покровные ткани (например, кожа животного — Ю.Л.). Кроме выполнения многочисленных биологических функций покровные ткани образуют, с конструктивной точки зрения, пневматические системы, наполненные газом, жидкостями, субстанциями и гранулами. Органы, как, например, акустический пузырь лягушки, плавательный пузырь рыбы, мочевого или желчного пузыря, а также все коммуникационные системы, как, например, система снабжения растений, сосудистая система или кишечника человека и животных, представляют собой комплексы газо-жидкостных пневматических конструкций. Кожные покровы могут служить упаковкой меньших и большей частью менее прочных пневмоконструкций — комплексов клеток. В таких случаях можно говорить о комплексе пневмоконструкций. Таким же образом построены фрукты и отдельные органы животных и человека (печень, почки, мозг и селезенка). Впрочем, и все виды организмов покрыты прочной на растяжение, гибкой кожей (покровными тканями) и представляют собой комплексы пневмоконструкций, например лишенные скелета животные — черви, гусеницы, улитки.

Для определенных функций организма требуются конструктивные системы, сопротивляющиеся сжатию и изгибу. Однако и они все без исключения образованы из мягких клеток, закрепленных отложением и напластованием в них затвердевших субстанций.

Растения образуют твердые субстанции благодаря напластованиям целлюлозы в первоначально мягких клетках. У животных с внешним скелетом, например, насекомых, пауков или ракообразных, а также улиток и раковин, формируются вокруг мягкого тела в результате отложений хитина или извести прочные скор-

* © Schaur E. (BRD).

¹ Например, песок, гранулированный шлак и др. Как мы видим, название пневмоконструкции (воздухонаполняемые) несколько условно. (Примеч. Ю.Л.).

лупы, хорошо сопротивляющиеся сжатию и способствующие, как опора для мускульной системы, лучшей подвижности организма. У животных и человека прочные на сжатие и на изгиб опорные системы скелета образуются благодаря отложению костной субстанции между мягкими скелетными клетками в костной покровной ткани (надкостнице). Влияние гибких пневмоконструкций на формирование прочных на сжатие элементов особенно проявляется на примере образования черепной коробки. Череп формируется благодаря надкостнице, пневматическому давлению мозгового вещества и глазного яблока. Если индивидуум в процессе роста потеряет один глаз, то череп будет развиваться одностороннее (асимметрично).

Исследования достаточно отчетливо показали, что комплексы тел растений, животных и человека в целом, так же как и их элементы, построены на основе пневматики, и в их формах действие пневматики находит свое яркое отражение. В процессе эволюции живая природа благодаря оптимизации (мутации и селекции) отдельных элементов и системы организма в целом достигли способности к функционированию и выживанию видов. Таким образом, эволюция является не только историей развития видов, но также историей развития организующих самих себя конструктивных систем.

ПОСТРОЙКИ ЖИВОТНЫХ*

Техника животных обращает на себя внимание удивительными "строительными достижениями", часто импонирующего масштаба, вплоть до детализировки, выполненной с удивительной точностью. Мы хотим здесь лишь кратко осветить эту строительную деятельность, обратив внимание в основном на такое строительство, которое неразрывно связано с образом существования и поведением организмов и часто с использованием чужих для них строительных материалов.

"Строительные мастера", которые нас здесь интересуют, — это животные, создающие постройки для длительной защиты, защиты молодого поколения, защиты во время сна или лова добычи. При этом постройки по меньшей мере кратковременно могут покидаться своими хозяевами. Многие строительные мастера и в первую очередь личинки насекомых, некоторые виды муравьев, термитов, кроты, настолько адаптируются к своим убежищам, что они по своей охоте их не покидают, поскольку могут превратиться в беззащитный объект окружающего мира.

В постройках животных можно обнаружить всевозможные виды конструктивных форм: пещеры, стержневые несущие конструкции (многие гнезда птиц), мембраны и сетчатые конструкции (паузы и гусеничные паутины), оболочки (тонкостенные гнезда стрижей), складчатые формы (например, сотовые постройки пчел), своды (муравьиные кучи), массивные конструкции ("сцементированные", монолитные, высокой прочности постройки термитов).

Можно упорядочить и систематизировать постройки животных на основе видовых особенностей их строителей. Характерно, что высокоразвитые позвоночные — и прежде всего млекопитающие — воздвигают удивительно малоразвитые, скорее даже примитивные постройки; в противоположность этому у беспозвоночных — эволюционно более древних животных — можно найти высококомплексные строительные объекты. Постройки ос с изысканно тонкой бумажной оболочкой, обволакивающей многоярусную пространственно усовершенствованную сотовую систему, несравненно утонченнее, а в статическом и функциональном отношениях развитие, чем пещерная система и лабиринт ходов крота. "Архитектурно" гнездо обезьяны — неуме-

лая и возникающая скорее в результате неорганизованных, произвольных действий постройка, чем произведение способного, в определенной степени размышляющего животного.

Постройки животных можно проанализировать также и с точки зрения их детализировки, технологии изготовления, максимальной механической сопротивляемости нагрузкам и анализа фактически действующих сил. С позиций соединения элементов, процесса изготовления, соотношения долговечности и несущей способности больше всего известно о паучьей паутине. Зоологом Эрнестом Кульманом проведены тщательные эксперименты также и с технических позиций. Так, сегодня мы можем сравнивать длину разрыва нити паутины (разрыв вертикальной подвешенной нити максимальной длины от собственного веса — модуль упругости) с техническими высокопрочными материалами. В таблице приводятся некоторые сравнения.

Если сравнить сделанные Э. Кульманом с помощью электронного микроскопа фотографии мест прикрепления нитей в паутине паука, узлов (петель), системы краевых образований паутины с деталями применяющихся на практике сетчатых конструкций, можно прийти в изумление от сходства решения проблемы (рис. 5). Эти сетчатые конструкции можно обнаружить не только у пауков. Типичные гнезда птиц по сравнению с другими произведениями различных видов животных построены разочаровывающе одинаково. Иногда неродственными по происхождению животными формируются сходные средства — "инструменты", которые применяются ими для производства сходной работы над сходными строительными формами. Известный пример — это устройство ножки медведки и лапы крота. И все же считается, что наиболее сходная строительная техника родственных по происхождению животных. Ошибки эволюции в смысле неприспособленности к среде или односторонней специализации разрешаются в живой природе отмиранием видов.

Материал	Длина разрыва R , км
Паутина:	
нити паука	70
нити кокона	20
Шерстяное волокно	10—20
Хлопчатобумажное волокно	25—50
Нити вискозы	40—75
Полиэфирное волокно	70—95
Стекловолокно	70—120

Животные строят в близком (родственном) для них природном окружении. Постройки отвечают экологическим условиям. Адаптация же к окружению (не в смысле мимикрии) выглядит лишь относительно необходимой. Полная адаптация отдельных специализированных видов организмов, их поведения и потребностей к окружению встречается весьма редко.

Исключение составляет строительная деятельность бобра. Свои потребности он непосредственно приспосабливает к среде, воздвигая плотины на реке лишь тогда, когда устойчивость водного хозяйства нарушается. Иногда его водный город из хвороста и песка с жилым пространством внутри и с входом под водой достигает четырехметровой высоты. В другом случае бобер довольствуется сооружением убежища на откосе берега реки или другого водохранилища и делает это так, что вход в жилье всегда располагается под водой.

Бобры, если они "считают" для себя это жизненно важным, вмешиваются в водную систему так энергично, что могут кардинально изменить весь ландшафт.

Их водные сооружения невероятно надежны в строительном отношении и могут выдерживать многотонное

* © Thywissen C, A. Schmall, Schneider R. (BRD).



Рис. 5. Паутина паука

Рис. 6. Деталь паутины

давление воды. Самая большая из известных плотин бобров имеет длину 600 м.

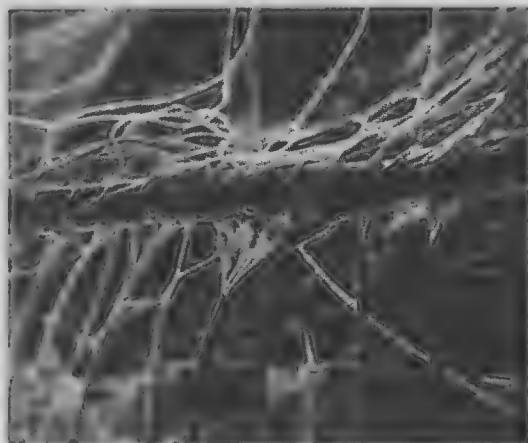
Видимо, право прямого вмешательства в экологию ландшафта сохраняют за собой высшие животные (при наличии исключений) и человек.

ФОРМА — СИЛА — МАССА*

Человек может формировать технические объекты по этическим, эстетическим и функциональным мотивам. Органическая и неорганическая природа не следует этим духовным категориям, ее формы возникают по строгим физическим и химическим законам.

Масштаб и цель живой природы — это сохранение рода. Техника человека нацелена на то, чтобы сделать ее продукты лучше с точки зрения различных критериев. Требование увеличения несущей способности конструкций и облегчения массы конструкций определяет развитие домов, транспортных средств, различных видов машин и приборов.

С давних лет ИЛ занимается легкими строительными конструкциями, в особенности тентами и мембранами, легкими покрытиями и пневматическими конструкциями, сетчатыми и решетчатыми объектами. При этом преследуется цель совершенствования физико-технических принципов и основ формирования и конструирования этих несущих конструкций. Мы ищем возможности выявить, понять и описать соотношения между формой, силой и массой объекта в природе и технике.



Принцип легкости сооружений является важнейшим по отношению ко всем объектам; это одновременно мысленная модель и метод — новый путь к научному разражению технических и органических явлений, к установлению взаимосвязи между внешними проявлениями форм и процессом развития и возникновения реально существующих объектов.

Любая конструкция противостоит внешним или внутренним напряжениям, но для того, чтобы противостоять данной нагрузке, она должна сокращать ее благодаря изменению своей формы или использовать столько материала, сколько для этого необходимо.

* © Hennicke J. (BRD).

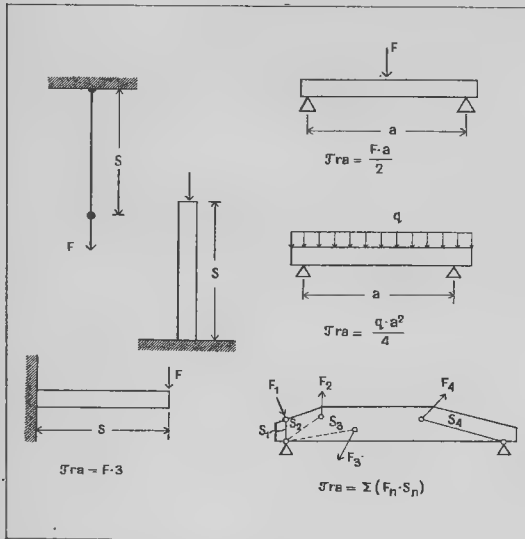


Рис. 7. Схема взаимодействия в конструкциях действующих сил и расстояний их точек приложения (Bic). Трансляция сил

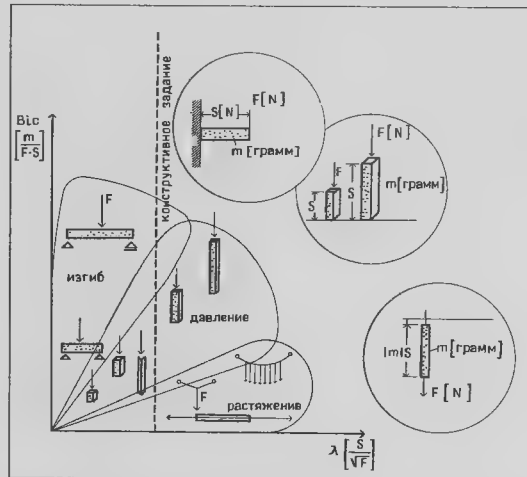


Рис. 6. Схематическая диаграмма стройности (λ) в системе Bic

Легкой может считаться конструкция, которая с возможно минимальной массой материала выполняет оптимально свои конструктивные задачи (подчеркнуто Ю.Л.). Издержки массы, например массы материала, можно принять за основополагающий критерий для суждения и сравнения при применении различных конструкций. Конструкция — это тот материальный объект, который обладает способностью распределить силы по определенным направлениям и воспринимать их (в итоге, например, на фундаменты — Ю.Л.). На основании этих критериев можно научно, осознанно и целостно создавать конструкции и в результате анализа и синтеза неходить совершенно новые несущие системы.

Мерой, которая открывает возможность соотносительно организовать и сравнивать материальные объекты из различных сфер природы и техники, является Bic. Bic представляет собой сравнение массы объекта (измеренной в g) и максимальной несущей способности (измеренной в ньютонах — Nm), например Kp, при определенной нагрузке. При этом несущая способность объекта обозначается символом Tra. Если объекты в результате нагрузки приводятся в состояние разрушения или к максимально возможной деформации, то, можно рассматривать через действующую силу F и расстояние силы от опор S (назовем это трансляцией силы) и определять через вес (массы — M). В итоге формула Bic выглядит следующим образом:

$$Bic = M / Tra = M / F_n S_n \left[g / Nm, \text{ или } g / Kp \right].$$

Широкодиапазонное применение Bic является хорошей основой для оценки состояния развития конструкций, особенно при сравнении объектов природы и техники и для оптимизации технических конструкций в направлении сокращения материалоемкости.

Определение Tra вытекает, как правило, из расчета, который основывается на измерениях в процессе эксперимента или на теоретико-математических исследованиях. Силу следует обозначать в Н (Ньютонах), а трансляцию силы — в метрах (м). Tra для прост-

тых конструкций и нагрузки изображена на схеме рис. 7.

Трансляция силы S может быть представлена как наикратчайшее расстояние от точки приложения силы до той точки поверхности или тела, где объект ограничивает дальнейшее действие силы.

Bic зависит не только от массы объекта, но и от его формы, материала, способа и порядка распределения сил. Многие объекты имеют лишь для определенных нагрузок особо низкий Bic. Одинаковые объекты при различной нагрузке имеют различные Bic. Каждый Bic имеет свое описание нагрузки. Bic позволяет измерять затраты массы, например потребность объекта в материале, в определенной форме, и обладает соответствующей способностью воспринимать нагрузки. Другими словами, описывает цельность объекта при выполнении им определенной задачи.

Легкие конструкции — это объекты, которые при минимальной массе обладают особой способностью выдерживать нагрузки. Их масса по сравнению с их Tra мала, следовательно, и их Bic — мал.

Объекты с низким Bic, с точки зрения свойств материала, например массы, обладают большей несущей способностью или эффективнее, чем подобные же им с высоким Bic. Эффективность их, следовательно, обратно пропорциональна Bic.

При прямом сравнении материала, например массы m в различных объектах необходимо привлекать и другие параметры, например ввести понятие относительной стройности λ. Она описывает в определенной степени поставленные перед объектом специфические задачи — на какое расстояние должна быть перенесена определенная сила:

$$\lambda = S / \sqrt{F_n} \left[m / \sqrt{N}, \text{ или } m / \sqrt{Kp} \right],$$

где S — трансляция силы, измеряемая в метрах (м); F — разрушающая сила, измеряемая в (ньютонах) или Kp.

Определение относительной стройности λ создает для исследования Bic необходимые предпосылки, так как она позволяет сравнивать с одинаковой относитель-

ной стройностью объекты независимо от их формы и соответствующих материалов. Bic и λ могут быть применены без исключения (по меньшей мере в примерном исчислении) для всех материальных объектов. Для типичных конструктивных форм из природы и техники уже получены определенные характеристики значений Bic и λ . В некоторых областях проводятся тщательные исследования. Имеются налицо оценки одно-, двух-, трехразмерных конструкций из твердых материалов с учетом осевого сжатия и растяжения или изгибаемых конструкций, а также различного рода двух- и трехосных направлений действия сил и напряжений.

Установленные Bic и λ оценки прошедших испытание объектов сведены в диаграммы. Именно Bic и λ -диаграмма дает возможность проводить сравнения материальности различных объектов (рис. 8).

В процессе проводимых экспериментальных исследований для определения Bic в отобранных объектах для успеха эксперимента необходимо, чтобы непосредственно в процессе испытаний были твердо определены следующие параметры:

трансляция силы S в состоянии разрушения или максимально приближающейся к нему деформативности (измеренной в метрах);

нагрузка F , которая приводит к разрушению или вследствие которой возникают предельные деформации (измеренные в Н, или Кр);

масса объекта g . Здесь должны быть зафиксированными (поскольку это измерено) также и другие параметры, например влажность объекта и состояние окружающего воздуха перед и после испытаний, а также температура.

Должно быть решено:

$$Tra = \sum (F_n S_n) [Nm, \text{ или } Kpm];$$

$$Bic = M / Tra [g/Nm, \text{ или } g/Kpm].$$

Относительная стройность

$$\lambda = S / \sqrt{\sum F_n} [m/\sqrt{N}, \text{ или } m/\sqrt{Kp}],$$

причем при действии многих сил должна быть определена сумма линий: $S = Tra / \sum F_n$.

Результаты оценок Bic и λ сводятся в диаграмму. Каждый прошедший испытания объект имеет в Bic и λ -диаграмме свое место.

Приведенный "эскиз" Bic и λ -диаграммы раскрывает в упрощенной форме, в каких областях лежат типичные строительные конструкции, которые рассчитываются на растяжение, сжатие или изгиб.

ВЫСОТЫЕ СООРУЖЕНИЯ*

Когда египтяне воздвигли пирамиды в Гизе и Саккара, они, по-видимому, осознали, абстрагируясь от знаний действия физических законов, что подобные высотные сооружения могут быть созданы только в таких формах.

1500 годами позднее была построена Вавилонская башня; ее высота была лишь 90 м в то время, как высота пирамиды Хеопса сегодня составляет 146 м. Более высокой Вавилонская башня и не могла быть. Материал, из которого она была построена, а главное, выбранная форма не позволяли сделать ее значительно более высокой. Высокие храмы в Ассирии и Шумерии распались, поскольку их формы были слишком прямолинейными (отвесными). Здесь стихийно сформировались конусообразная насыпь (конус устойчивости) с естественным углом откоса, соответствующим данному материалу. Пирамиды отвечают примерно этой идеальной форме конуса устойчивости. Высота конуса устойчивости определяется в зависимости от материала,



Рис. 9. Пальмы в бурю. Действие упругих сил стволов пальм помогает им сократить ветровую нагрузку

например у базальта она составляет около 8 км, что с точки зрения Bic является оптимальным и характеризует конструкцию как относительно легкую и эффективную.

Знали ли древние народности о глубоких законах формирования этих конструкций — неизвестно. По всей вероятности, пирамиды произошли на почве аналогии с "божественными горами", например вулканами Атлас, Килиманджиро и др., и были больше символом вечного, непроходящего, чем конструкциями, удовлетворяющими определенным функциям.

Со времени культовых башен древней культуры не было больше построено башен подобной высоты. Вместо этого строили иглообразные монументы, стройные колонны, закрепленные в фундаменте, или башни, преднапряженные стальными канатами — вантами.

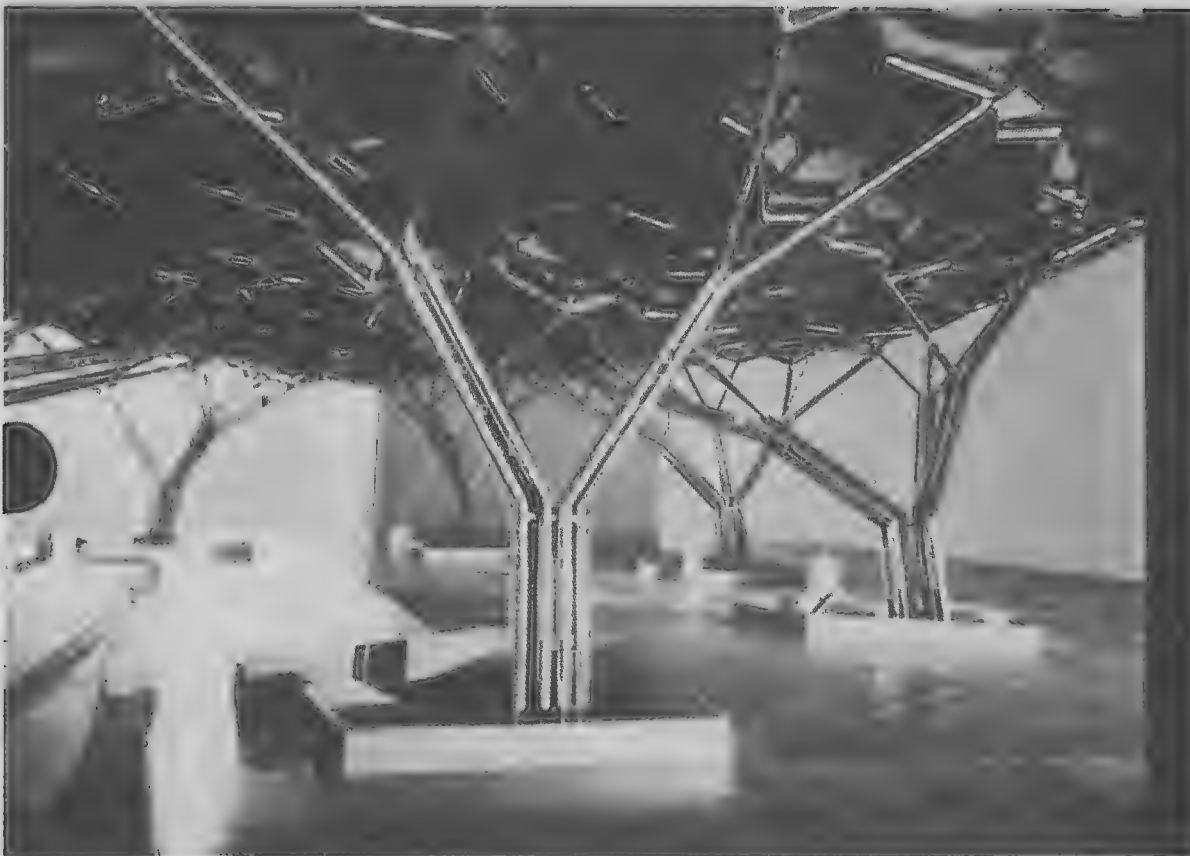
Проблема строительства стройных (высотных) башен заключается в опасности их опрокидывания. При приземистых башнях типа пирамид такая опасность исключена; в этом случае оказывает свое действие собственная масса и минимально возможная опрокидывающая сила. Материал может быть полностью использован, если башня сделана по закону формы. Материал и сила становятся "конструкторами". Для изящных форм башен, напротив, свойственны собственные колебания (гибкость), а ветровые нагрузки на определенной высоте могут стать настолько опасными, что башня разрушится (сломается) раньше, чем работа материала в целом достигнет предела прочности. Известно, как ломаются высокие стволы деревьев (или мачты высокого напряжения). Дерево смягчает силу ветра благодаря способности наклоняться. Максимальное значение изгибающего момента приходится на подножие дара, и в соответствии с этим оно сконструировано. Своими корнями дерево заанкеривает себя в земле; однако эта система неизбежно должна отказать, если изгибающие напряжения выше его конструктивных возможностей. Только благодаря способности ослаблять действие внешних сил в связи со своей гибкостью деревья могут достигать очень большой высоты (например, эвкалипты в Южной Америке достигают высоты 200 м — Ю.Л.).

Свободно стоящие башенные конструкции, такие, как радиомачты, мачты на кораблях и в тентовых сооружениях, имеют максимальный момент в средней части сооружения, поскольку конструкция их осно-

* © Thywissen C., Schmall I., Schneider R. (BRD).



Рис. 10. Упругогибкая система башни (ИЛ, Ф. Отто, 1964 г.). Аналог — позвоночник животного



вания имеет шарнирное соединение с фундаментом. Эти оба компонента — мачта и шарнирное опирание — определяют форму конструкции. Однако чтобы такую конструкцию сделать, необходимо применение метода проб и ошибок и эксперименты для ее оптимизации (рис. 10, 11).

Рис. 11. Ветвящиеся опоры по аналогии со стволом дерева. Проект здания для Саудовской Аравии. Архит.: бюро Гутброта, Зап. Берлин — Штутгарт; Инж.: бюро Э. Хампльда, Бат. (Англия); Под рук. ИЛ. Ф. Отто, Штутгарт — Вармброн

ИЗГИБАЕМЫЕ БАЛКИ — ИЗГИБАЕМЫЕ ПЛИТЫ*

О поисках материалоеффективных и идеально сформированных балок на двух опорах говорят результаты, полученные в строительстве железных дорог, машин, самолетов, где балки конструируются в соответствии со свойствами формирующих их материалов. Однако в несравнимо более грандиозной сфере традиционной архитектуры вряд ли эти моменты имели решающее значение. Здесь большую роль играет обработка материала балок, функции целого и эстетические моменты, соответствующие поискам формообразования этой конструкции, так что вопросы оптимизации массы балок не были решающими. После Галилея и Гука, которые сформулировали основные положения современной статике, тема изгиба была предана забвению.

Лишь с внедрением новых материалов, например чугуна, стали и в середине XIX в. железобетона, а также с первым большим строительством мостов (чугунные и стальные железнодорожные мосты в США, позднее в Англии и Германии) теорию растяжения-сжатия комплексной системы изгибаемых балок включили в сферу практики строительства. Конструирование было определено целью: новый ценный материал — сталь использо-

вать экономно в смысле возможно большего учета прочностных способностей материала, будь то работающие на растяжение ванты и профильная сталь или работающие на сжатие трубы, лестницы, плиты.

XIX столетие породило альтернативы традиционным изгибаемым балкам — высоковальцованные профили, коробчатые и трубчатые профили, несущие конструкции типа фахверка, предварительно-напряженные опорные системы (балки, фермы и т.д.). В последних названных несущих системах (фермах) изгибаемые элементы — балки были последовательно выведены. Если вначале изгибаемые балки вследствие опыта плотницких работ отвечали в большей степени деревянным конструкциям, то потом развилась безотнositельно к применению конструкций, работающих на растяжение (как, например, ванты), самостоятельная и экономная в смысле использования строительного материала область конструирования.

Как правило, балки имеют прямолинейную форму с постоянным поперечным сечением. Однако изгибающие моменты на протяжении всей длины не остаются постоянными. В смысле процесса оптимизации это означало бы, что в соответствии с системой распределения моментов балки в середине пролета необходимо конструировать большей высоты, чем в частях, расположенных близко к опорам, или на опорах.

* © Thywissen C., Schmall J., Schneider R. (BRD).

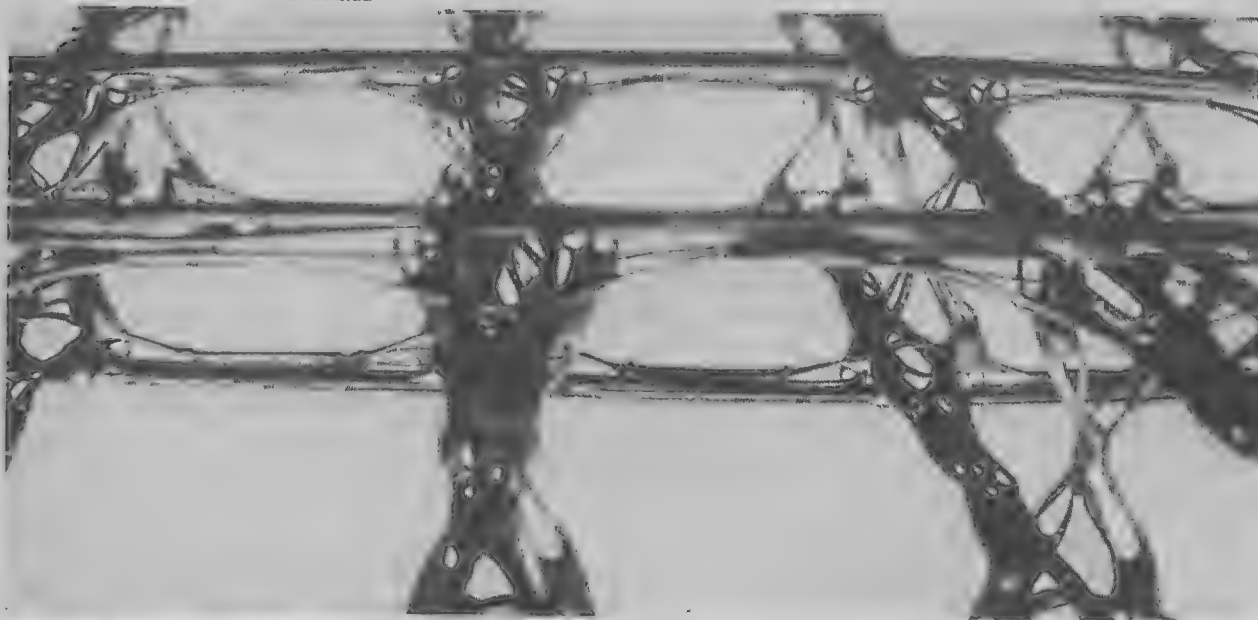


Рис. 12. Изгибающиеся плиты в виде интегрированных в плоскости балок. Исследование фахверковых систем (ИЛ, Ф. Отто, Штутгарт-Вармброн, 1965)

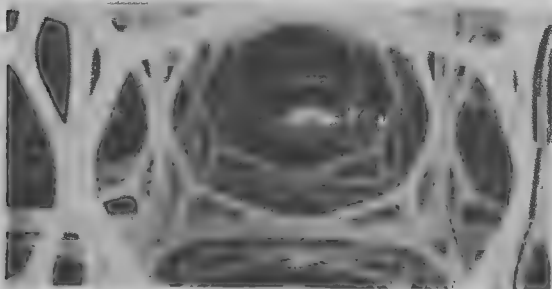
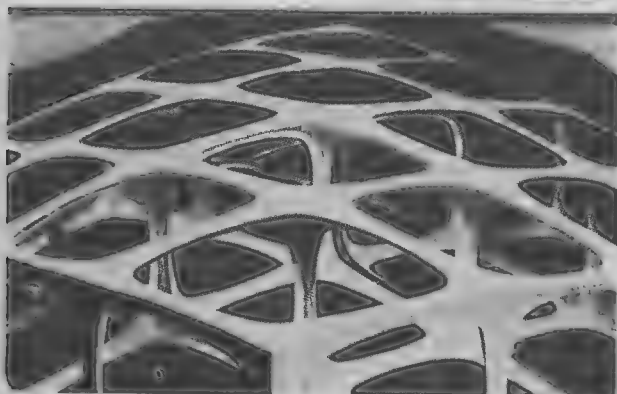


Рис. 13. Конструктивные системы с упругогибкими узлами (ИЛ, Ф. Отто, 1962)

Нам известны такие балки из опыта строительства арочных мостов, где применен этот принцип.

Проблема изгибаемых конструкций относится не только к линейчатым балкам, но также и к поверхностям — изгибаемым плитам (рис. 12, 13).

Нерви конструировал покрытия, в которых он сосредоточивал прочный материал главным образом там, где концентрировались изгибающие моменты плиты. Результатом этих размышлений над использованием массы и несущих способностей стали биоморфные плиты с наиболее оптимальными концентрациями зон главных напряжений.

Конечно, это не исключает также конструирования двух- и трехразмерных фахверковых (решетчатых) систем. Проблема фахверковых конструкций заключается в образовании противодействующих изгибу узлов для растянутых и сжатых стержней. Здесь концентрируются все силы, воспринимаемые от сетки решеток. Автором (К. Тивиссен — Ю.Л.) были предложены конструкции узлов, позднее обнаруженные палеонтологами в препарате пены диатомовых водорослей. Изгиб означает повышенное применение массы материала конструкции. Поэтому в живой природе изгиб по мере возможности сводится к минимуму, однако он встречается в стройных, не заключенных в ткань сеток объектах (например, стебли, иглы, клювы птицы), и при определенных распределениях нагрузок — также в костях животных и рыб. Эти изгибаемые конструкции имеют тенденцию у животных и растений превращаться в трубчатые системы с радиальными рабрами жесткости, насколько это позволяет функция организма.

ПАЛАТКИ, МЕМБРАНЫ, СЕТКИ*

Палатки (шатры) принадлежат к старейшим сооружениям, созданным человеком. Палатки самых различных форм и размеров использовались в качестве укрытий во все эпохи. Человеческая культура и климат так же, как и используемые материалы, были факторами, определяющими использование формы и конструкции палаточных сооружений. Это прошедшее через века развитие палаток привело к их оптимизации и появлению разновидностей — шатры бедуинов, монгольские юрты или европейские палатки-цирки.

Благодаря текстильной индустрии XIX в. и исследованиям палаточных конструкций в начале 50-х годов нашего столетия палаточное строительство было снова возрождено к жизни.

Форма и конструкция. Палатки, как правило, — это преднапряженные конструкции из тканей, фольги или сеток. При их конструировании важную роль играет

* © Burkhardt B. (BRD).

соотношение собственной массы и сил преднатяжения. В основе проектирования палаток лежит принцип минимальных поверхностей, т.е. оптимизация соответствия формы, сил и массы:

минимальные поверхности — наименьшие поверхности между замыкающим их контуром, который определяет поиски форм палаточных покрытий;

в каждом пункте минимальной поверхности сумма градусов положительной и отрицательной кривизны равна нулю;

в минимальных поверхностях напряжение во всех направлениях одинаково.

Эти свойства минимальных поверхностей определяют их весьма большие преимущества в проектировании и строительстве.

Принципы минимальной поверхности хорошо раскрываются на примере мыльных пузырей (рис. 14). Форма их поверхностей образуется в данном контуре по вышеуказанным критериям. В этом случае можно говорить о самообразовательном процессе рождения формы, не потребовавшим ни геометрических, ни математических расчетов.

Конструкции, которые стихийно формируются на основе физических законов, мы относим к "естественным конструкциям". К ним принадлежат также замкнутые мембраны, стабилизируемые благодаря нагнетанию в них воздуха или жидкости, — так называемые пневматические конструкции.

Вариации форм минимальных поверхностей почти бесграничны. Однако не все минимальные поверхности удовлетворяют требованиям к палаточным или сетчатым конструкциям.

В проектировании сферическая поверхность пленки (мыльные пузыри) с равным напряжением тождественна равномерно напряженной мембране или сетке сооружения. Но материал мембраны и канатов сеток должен быть между собой согласован.

Унификация, например, в целях индустриального изготовления заключена в самой конструктивной системе и не вытекает из формы сеток или стандартизации плана сооружения.

Применение и использование. Около 100–300 км² земной поверхности перекрываются ежегодно во всем мире различными видами тентов, мембран или сеток, в том числе: для стационарных, долговременных сооружений; временных и легко переносимых построек; трансформируемых и транспортируемых сооружений.

Спектр их применения постоянно расширяется — выставки, производственные складские помещения, оранжеи, временные сооружения после землетрясений, палаточные дома, палаточные городки, перакрытия для отдыха и спорта.

Все большее число палаточных и мембранных конструкций находят применение в инженерном и архитектурном творчестве.

Рассмотрим ряд примеров палаточных сооружений, выполненных под руководством Института легких покрытий Штутгартского университета (ИЛ).

Первая из упругих структур, построенная ИЛ в 1955 г. в г. Касселе, — так называемая "Бандштанд", является прототипом седельчатой формы мембраны. Последняя поддерживается мачтами в двух противоположных точках и укрепляется на земле также в двух, но перпендикулярно противоположных точках. Шатры с вершинами, в которых седельчатые мембраны поддерживаются только в одной точке, — один из лучших вариантов данного типа мембран. Примером такой конструкции служат павильоны Швейцарской национальной выставки в Лозанне, построенные в 1964 г. Здесь при помощи поддерживающих и ограничивающих бортов были созданы дополнительные седельчатые формы,

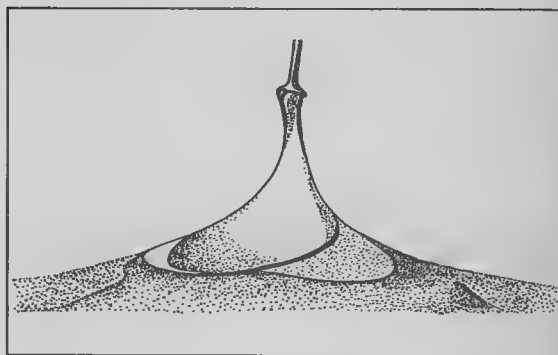


Рис. 14. Опыты с мыльными пузырями. Поиски формы и размеров глазных петель в сетчатых конструкциях (ИЛ)

позволившие осуществить волнообразность шатровых покрытий. Такая весьма пластичная форма шатров была осуществлена в очень интересных конструкциях: звездообразный танцевальный павильон в Кельне (1957 г.), зал и малые павильоны в Гамбурге (1963 г.). В то время как эти мембраны бортового типа еще поддерживались мачтами, позднее была создана непрерывная форма опоры в виде тонкого стального обода (арка входа в Кельне). В последнем важном типе конструкций мембран — с высокими точками, а также с высокими и низкими точками крепления — используются уширенные головки мачт, что и придает таким конструкциям, например одному из шатров в Кельне, характерный, горбатый вид. Двускатные кривые садового павильона в Кельне (1957 г.) являются выпуклыми и вогнутыми. Выпуклые кривые сходятся почти тангенциально на вершине свода. Эти направления выражены узором лент из канвы, которые пересекаются у вершины в точке самого большого напряжения. Наклон мачты и закругленные вырезы боковых краев мембраны подчеркивают уплотненный характер формы.

Другой известный пример — покрытие Олимпийского спорткомплекса в Мюнхене (рис. 15). Незадолго до начала работ по конкурсу сотрудники ИЛ закончили исследование мембран с высокой и низкой точками опоры с использованием так называемых глазных петель (рис. 16). В результате опытов с мыльными пленками были получены минимальные поверхности, образующиеся между высокой и низкой точками, которые и приводят к самым эффективным формам седла. Глазные петли были введены с целью снижения концентрации натяжений, неизбежно возникающих в высоких точках опоры на мачтах и в низких точках, на которых укреплены проволоочные канаты. Созданный таким путем тип мембраны сравнительно недорог и может покрывать большие площади даже таких неравномерных в сечении и по высоте конструкций покрытий, как павильон ФРГ.

Конструирование такой упругой структуры основывается на прадварительном трахмерном моделировании. Ни рабочие чертежи, ни конструкторские расчеты не могут быть изготовлены и проведены без предварительных сложных измерительных работ на моделях. Одна из таких моделей была использована для получения геометрической формы сети из проволоочных канатов при определенных крайних условиях и при заданных величинах натяжения с целью исследования условий нагрузки и получения приблизительных форм выкройки подвешенного холста. Другая модель (из дерева) была построена для проведения опытов в аэродинами-



Рис. 15. покрытие над трибунами Олимпийского спортивного комплекса в Мюнхене, ФРГ (1972 г.). Архитекторы: фирма "Г.Бениш и партнеры", Ю. Едике, Ф.Отто

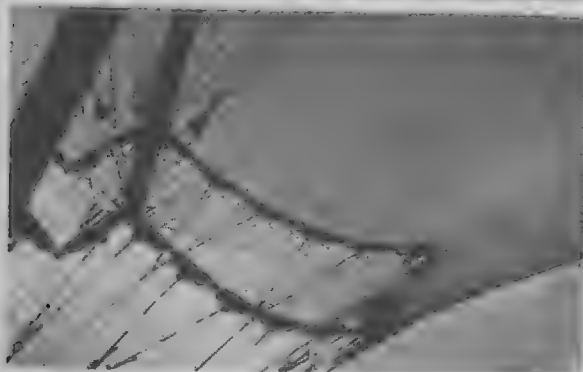


Рис. 16. Соединение мачтовых опор и сетчатого покрытия посредством канатов с глазными петлями (ИЛ)

ческой трубе, чтобы оценить влияние давления ветра и разреженного воздушного пространства, действующего с разных сторон конструкции и с различными скоростями на поверхности мембраны.

В 1968 г. было построено здание для Института легких конструкций. Его покрытие состоит из сети с высокой точкой опоры и 12 анкерными точками по периметру. Длина здания 82 м, ширина 26 м, перекрываемая площадь около 2000 м², высота мачты 17 м. Сеть поддерживается проволоочными канатами с "глазными" петлями. Черепица из асбестоцемента (см. рис. 1).

Базой для этого сооружения послужила экспери-

ментальная конструкция, созданная в 1966 г. для проверки правильности концепции павильона ФРГ в Монреале. В этой конструкции было применено крепление типа "глазной петли" для канатной сети с высокими точками опоры на мачтах. Согласование данной конструкции с новыми требованиями оказалось несложным.

В покрытии известного Олимпийского стадиона в Мюнхене (1972 г.) были использованы сети седельчатого типа (9 элементов) с 2 точками подвеса, 2 внутренними точками опоры, 4 анкерными точками для каждого элемента и 1 непрерывным передним бортовым канатом для всех элементов (максимальный пролет 65 м, длина бортового каната 440 м, максимальная высота 58 м, площадь кровли 34000 м²). Сеть из проволоочных канатов покрыта прозрачной синтетической пленкой.

Архитекторы стадионов и служебных помещений, предназначенных для Олимпийских игр в Мюнхене, поставили перед собой задачу объединить все сооружения в один общий комплекс. Соответственно этой основной концепции были разработаны формы шатров, базирующиеся на одной и той же структурной формуле и являющиеся элементами одной длинной крыши. Подобно развернутой арке эти шатры покрывают половину главного стадиона с одной его стороны, арену плавательного бассейна с одной его стороны, арену легкой атлетики — с другой, площадь у главного входа в центре. Сети седельчатой формы, изготовленные из проволоочных канатов, подвешены к мачтам и укреплены в земле. Они составляют первичную структуру, поддерживаю-



Рис. 17. Павильон многоцелевого назначения в Мангейме. Ф. Отто и другие, 1975 г. Общий вид и интерьер

щую защитную мембрану из светлой синтетической ткани.

Необходимость расширения культивируемых районов в засушливых областях навела на мысль увеличить сектор применения мембранных конструкций. Исходя из тех соображений, что тень для посадочных площадей и обусловливаемое ею уменьшение испарения влаги является не менее важными, чем ирригация, ИЛ разработал проект модульной системы теневых кровель для защиты от солнца целых полей, нечто напоминающее идею создания теплиц в северных областях. Горизонтально натянутые пористые сети практически не оказывают сопротивления ветру, устраняют необходимость применения противветровых профилей.

Различные устройства, действующие по принципу лебедок, были разработаны для подъема и опускания покрытий, а также для установки добавочных теневых сетей в случае необходимости увеличения степени затемнения (такие теневые покрытия созданы были для фирмы "Фарбверке Хёхст").

В ИЛ разработана область специального применения напряженных конструкций — подъемные крыши. Мембраны, похожие на паруса, передвигаются по поддерживающим кабелям посредством роликов или лебедок, или электрических приводных устройств, специально разработанных для крыш таких типов. Первая небольшая палаточная конструкция, поднимаемая вручную, была построена в 1965 г. над театральной сценой казино в Каннах. Более обширные крыши, автоматически раскатываемые и скатываемые обратно за несколько минут, были созданы для театра под открытым небом в г. Бад-Херсфельд, а также для плавательных бассейнов в Париже и Лионе. Подъемные крыши особенно выгодны для таких спортивных сооружений, так как этим значительно продлевается период их использования в течение года. Последняя конструкция — это



прототип для серийного производства автоматических крыш в виде зонтов, применяемых на небольших или нерегулярно используемых площадках. Такие подъемные крыши в определенной степени соответствуют идеалу так называемой "реконструкции", так как в поднятом состоянии они представляют собой лишь незначительный, не мешающий окружающей среде объект. В развернутом состоянии такие покрытия благодаря своей форме, легкости и прозрачности хорошо вписываются в традиционные ансамбли архитектуры.

СВОДЫ, РЕШЕТЧАТЫЕ СТРУКТУРЫ*

Эксперименты, предпринятые ИЛ в период 1961—1963 гг., представляют собой исследовательские проекты в его основной области деятельности. Здесь заново исследуются всевозможные конструкции.

Несмотря на то что подобные конструкции принадлежат к категории упругих структур, в большинстве случаев они оказываются достаточно стабильными под влиянием собственной массы, не будучи подверженными

* © Graefe R., Drüsedau X. (BRD).



ми предварительному напряжению. Этот принцип знаком из конструкций подвесных мостов, которые стабилизируются массой дорожного полотна. С помощью подвижных колонн типа позвоночника человека создана структурная система, которая уравнивается равнозначными силами сжатия и напряжения. В иных вариантах, например таких, как рашетчатые купола, путем буквального включения упругой системы разработана структура чистого сжатия. В результате был найден новый метод конструирования сводов путем деформации плоских решетчатых структур. Подобный метод впервые был применен для павильона ФРГ в Монреале. На основе использования теории минимальной опоры для строительных элементов и пространственных остовов разработаны легчайшие конструкции, получаемые посредством уменьшения длин сочленений сжимаемых элементов. Достигаемые формы, будучи чисто органическими, подчеркивают интерес ИЛ к естественным видам структур.

Одним из примеров гибких решетчатых сводов является универсальный зал с примыкающим к нему рестораном на выставке в Мангейме в ФРГ (рис. 17). Покрытие состоит из оболочки конструкции, полученной путем деформации плоской рашетки; гибкие элементы сдвоены через большие промежутки, затем укреплены с помощью болтов для достижения окончательной стабилизации; с целью дополнительного усиления используется канатная сеть, наложенная на элементы по диагонали. Максимальный пролет зала 85 м. Материал покрытия — сосновые доски, металлические болты, сеть из стальной проволоки, высокопрочный синтетический холст.

Этот огромный зал, представляющий собой одно из главных достижений ИЛ, является вершиной его исследовательских работ в области так называемых решетчатых оболочек. Конструкция иллюстрирует

Рис. 18. "Айрфиш" ("летающая рыба"). Пневматическая модель. (ИЛ, Ф. Отто, Р. Бартель, Х. Достер и И. Фритц); инженерное бюро: Хаппопд-Бат (Англия) при участии Ж. Лидделя; специалисты по авионавигации: Гренфильский технологический институт (Англия)

реальность и экономичность таких сжатых структур в любом масштабе. Однако простота такой концепции обманчива (72 км балок конструкции, скрапленных 34 тыс. болтов!); ее размеры столь огромны, что для расчетов применялись ЭВМ. Полупрозрачное рефлектирующее покрытие, придающее всему зданию вид гигантской амобы, светится снаружи в ночное время, когда внутреннее помещение освещено. При этом ясно видна структура решетчатой сети всей конструкции.

История надувных шаров и дирижаблей насчитывает более 200 лет. Несмотря на бурное развитие самолетостроения, дирижабль еще сегодня имеет преимущество во многих областях. Его оперативная область и радиус действия почти безграничны, приземление же осуществляется в парании. Дирижабли пригодны как для грузового, так и для пассажирского сообщения и могут использоваться в исследовательских целях — пражде всего там, где возможности вертолетов ограничены.

В проекте речь идет о мягком дирижабле. Несущий остов дирижабля — это пневмоконструкция, в то время как киль, в котором сосредоточены аппарат управления, моторы и примыкающие к ним гардеробная, багажная, пассажирское и служебное помещения, изготовлены в виде алюминиевого скелета (рис. 18).

ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-ТВОРЧЕСКИЕ СФЕРЫ АРХИТЕКТУРНОЙ БИОНИКИ *

В современной архитектуре наблюдается большое разнообразие ориентации творческих поисков. Расширенное материально-организующее и духовно-формирующее пространство жизненной среды в рамках отдельного здания, комплекса, города или страны обусловлено типологическим разнообразием архитектурных задач, промышленно-техническим уровнем развития и прогресса социальных основ архитектуры, особенностями природного окружения, как правило, на решение архитектурных проблем и конкретных проектных задач влияет творческий подход архитекторов, обусловленный научными, философскими и специфично-индивидуальными позициями в каждом творческом направлении.

Особым подходом, способным во многом обогатить развитие современной архитектуры, характеризуется архитектурная бионика, основывающаяся на социальной целесообразности применения бионических принципов формообразования в архитектуре. Она оперирует идеалом достижения совершенства живой природы через использование ее особенностей, принципов, закономерностей и форм в архитектуре.

За два десятилетия архитектурная бионика оформила и расширила свои теоретические и практические основы и аспекты и все больше привлекает теоретиков и творцов как для интереснейших бионических исследований, так и для создания и реализации оригинальных архитектурно-бионических идей.

Проблематика науки и творчества в области архитектурной бионики может быть отнесена к следующим основным позициям.

Биоматериаловедение охватывает широкую сферу исследовательских и экспериментальных работ, объектом которых является изучение удивительных свойств биоматериалов и их "производных" — тканей животных организмов, стеблей и листьев растений, нитей паутины, усиков тыкв, функциональных систем организмов и т.п.

Современное биоматериаловедение ставит трудные задачи создания новых строительных материалов, обладающих новыми свойствами и составом на основе структуры биоматериалов живой материи. Кроме того, правильное использование самих биоматериалов в архитектурной практике в более широких границах, чем обычное "зеленое строительство", проводимое для достижения оздоровительных целей и создания защитных конструкций архитектуры, — одна из перспективных и важных его задач.

Биотектоника является широкой областью изучения и освоения закономерностей, форм и строения живой материи и их применения в области конструирования. В фокусе своих научных и творческих интересов биотектоника концентрирует освоение новых способов и технических средств, сочетаемых с поисками эстетических форм конструкций, для материальной организации пространственной среды человеческой жизни в архитектуре.

Главные проблемы биотектоники заключаются в создании новых конструкций на основе принципов и способов действия биоконструкций в живой природе; способов связи и узлов конструкций, взятых из конструирования живой природы; в создании целостных материальных структур как органического единства конструктивных и неконструктивных элементов на основе взаимодействия подобных элементов в живой природе; в использовании систем интернации и экстер-

нации для осуществления новых тектонических систем в архитектуре по образцам живой природы; в осуществлении адаптации и роста гибких тектонических систем на основе адаптации и роста живых организмов.

В практике будущего строительства биотектоника будет развиваться на основе биоматериаловедения и биоконструирования.

Бионическая архитектура (бионическое освоение формы зданий и сооружений) является очень широкой и перспективной областью архитектурного творчества, в которой бионический идеал находит разностороннее воплощение. Архитектура как единство пространственно-тектонических структур, пластических отношений к "материи" здания, применение которых ориентировано на удовлетворение потребностей социальных процессов жизни и на создание комплекса функциональных и технических условий для их проведения, рождается как продукт взаимодействия человека и природы. Элементы живой природы служили элементами ее тектонической и пластической красоты. На смену прямому копированию и подражанию бионическая архитектура предлагает достижение совершенства в архитектуре зданий.

Поэтому бионическая архитектура включает поиски и эксперименты для создания новых типов моно- и полипространственных зданий на основе "мудрости", "логики и интуиции" живой природы; "растущих" зданий на основе принципов и форм роста в живой природе; новых видов зданий "раскрывающихся и закрывающихся" на основе аналогичных принципов в живой природе; "движущихся" зданий в наземной, небесной, подземной и подводной среде по подобию существования животного мира на земле, под землей, под водой и в воздухе (достижения в этих направлениях распространяются на все транспортные средства и системы); достижения новой эстетики и новой выразительности архитектурно-пространственных решений путем использования форм и пластических систем живой природы; адаптации архитектуры к условиям экстремального характера и подчеркнутой специфики путем использования формообразования, принципов органичной адаптации, существования и изменения живой природы в этих условиях.

Архитектурно-бионическая цитология охватывает специальные исследования и эксперименты для выявления всевозможных клеточных структур в живой природе. Выделение ее из других областей архитектурно-бионической теории и практики даст возможность увидеть, осознать и использовать специфические структуроорганизующие закономерности и возможности, которые демонстрируют такие совершенные создания природы как живая клетка и клеточная структура живого организма. Достижения в архитектурно-бионической цитологии будут способствовать развитию архитектурных формаций в таких пока недоступных областях мирового пространства, как космос и подводный мир.

Бионическая урбанистика выделяется как самостоятельная область архитектурной бионики, поскольку она оперирует проблемами использования закономерностей живой природы в сфере градостроительства и более широких областях территориально-пространственного и инженерно-технического освоения мира.

Творческое осмысление и талантливое научно-творческое моделирование живых систем на таком уровне позволит урбанистической теории и практике выйти из состояния современной функциональной и транспортной "схоластики" и "мудро" передвинуть развитие городов и всех остальных урбанистических структур в направлении бионического совершенствования.

Бионическая инфраструктура является тоже специфической областью организации функциональных путей и систем связи в архитектуре настоящего и бу-

* © Матеев Матей (НРБ), 1983.

дущего по образцам живых организмов. В этом отношении функциональные системы, мимикрия и ориентация живых организмов содержат множество примеров совершенства. Это поможет архитектуре перейти от стационарных к гибким системам технического оснащения, к изменяемой во времени колористике, к ряду других до сих пор неиспользованных возможностей включения инфраструктуры (всех технических систем) на службу полного, комплексного, высокоценностного и динамически изменяющегося комфорта всякой человеческой деятельности.

Архитектурно-бионическая экология ориентирована на широкий круг проблем, связанных с установлением экологического равновесия архитектуры и природы на основе единства принципов жизни и развития живой природы.

Они охватывают органическую связь архитектурно-бионических решений с самой природой по законам экологического равновесия; климатообразующее действие архитектуры; способы регулирования температуры, воздухообмена, освещения, инсоляции, влажности и т.д. путем приложения принципов и механизмов подобных явлений в живой природе; использование принципов единообразия и многообразия живой природы для создания гармоничной жизненной среды для человеческого общества; экономию материалов, энергетических ресурсов и пространств по принципам живой природы для поддержания экологического равновесия и гармонизации жизненной среды.

Архитектурный трансплантизм — еще одна особая сфера архитектурной бионики (понятие введено автором во время II Международной конференции по бионике в Ленинграде в 1978 г.). В наше время регенерация "архитектурного организма" производится путем реконструкции (восстановление с изменениями), реставрации (восстановление в соответствии с первоначальным оригиналом) и переустройства (адаптирования старого здания к функциям нового). Это совершается через воспроизводство процесса самого создания архитектуры.

Архитектурный трансплантизм — это новый подход к "ценностной квалификации архитектуры", который позволит более свободно, полно и творчески использовать то, что ценно и отстранить от организма здания негодные, атрофированные органы, "неживую" его часть.

Охват проблематики включает замену частей с утраченными функциями в наследованных урбанистических системах новыми частями путем приложения бионически решенных пространственных и тектонических структур; создание новых зданий с трансплантированными старыми фрагментами, частей и деталей с целью оригинального, характерного и высокоценностного решения архитектурной задачи для сохранения исторической памяти городов наряду с их полным современным и будущим обновлением; разработку строительных методов и систем для архитектурной трансплантации путем приложения новых технических средств (лазерная техника, взрывные технологии и т.п.) и специальных транспортных систем для совершения операций трансплантации; разработку "этики" архитектурного трансплантизма по отношению к творческой индивидуальности и творческому вкладу.

Архитектурный трансплантизм поможет с большей эффективностью осуществлять реконструкцию старых городов и урбанистических структур, придавая им новый смысл и новое звучание в атмосфере современной и будущей жизни.

Общая теория и методология архитектурной бионики имеет своим объектом общие закономерности, условия, принципы, способы и формы всех широкоохватывающих областей новой архитектурно-бионической теоретической и практической работы.

ВМЕСТО ПОСЛЕСЛОВИЯ

В 1958 г. ко мне пришли два студента Московского архитектурного института и показали свои рисунки и чертежи разных растений. При этом они с увлечением, перебивая друг друга, доказывали: принципы, заложенные в живой природе, можно и должно использовать в современной архитектуре. Мне все это показалось весьма интересным и я, будучи в то время главным редактором сборника "Вопросы современной архитектуры", издаваемого Стройиздатом, предложил им написать статью на эту тему. Через некоторое время статья была представлена. Ее авторам — Ю.С.Лебедеву и В.В.Зефельду (к тому времени ставшими архитекторами) удалось создать интересную и многообещающую работу "Конструктивные структуры в архитектуре и в растительном мире". Статья была включена в сборник.

Сборник с указанной статьей вышел в свет в 1962 г. Это была первая работа, посвященная архитектурной бионике.

Ни для кого не секрет, что современная мировая архитектура переживает кризис. Не будет особым преувеличением назвать этот кризис трагедией. Возникло нечто невыразимо однообразное и обезличенное. Возникло нечто антигуманное.

Человек перестал быть мерой всех вещей.

Мерой вещей стали машины.

Куда идти?

Этот вопрос встал и перед нами, советскими зодчими.

И вот, рассматривая предложенную книгу и иллюстрации к ней, невольно начинаешь думать, а не является ли то, что в ней показано, выходом из кризиса, в который попала современная архитектура?

Природа!

Человек всегда стремился создавать архитектуру, которая вызывала бы ассоциации с живым организмом. Это стремление нашло свое выражение и в египетской колонне, и в античном ордере, и в готическом храме.

Но этому стремлению противодействовал мертвый и инертный материал, из которого строились здания. Архитектор применял срубленные и высохшие деревья, которые были уже мертвы; он использовал ракушечник — это кладбище некогда живых существ. Он строил свои здания из мертвых тел. И его конструкции, естественно, подчинялись законам мертвой природы.

Зодчий только придавал своим сооружениям видимость живых организмов.

А вот архитектурная бионика дает вполне реальную возможность уподобить нашу архитектуру живому существу, которое легко и просто приспосабливается к меняющимся условиям. Сделать архитектуру органической не только по форме, но и по существу.

И во всем этом, может быть, и заключена новая, еще неведомая нам красота архитектуры будущего. Архитектура перестанет быть геометрией, материализованной в камне, стекле, бетоне. Она приобретет мягкие, округлые очертания. Она станет гибкой, упругой, эластичной, подобно дереву или цветку.

Конечно, архитектура — это не только бионика, но нечто значительно большее. Это социальное явление, включающее в себя и идеологию. Но с помощью бионики можно создавать произведения, разные по своей социальной и идеологической сущности (вспомним Египет, Грецию, готику, работы А.Гауди). И это нашло свое отражение в рассматриваемом труде.

Доктор искусствоведения,
кандидат архитектуры

Борисовский Г.Б.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

к гл. I

1. К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20.
2. К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23.
3. В.И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29.
4. П.Л. Лавров. Исторические письма (1868–1869). См. "Философия и социология". Избр. произведения в 2-х томах. Т. 2. М., Мысль, 1965.
5. В.М. Ахутин. Бионические аспекты синтеза биотехнических систем. В сб.: Информационные материалы: кибернетика, № 4 (92). М., Советское радио, 1976.
6. Демокрит в его фрагментах и свидетельствах древности. М., 1935.
7. Конструкции и архитектурная форма в русском зодчестве середины XIX — начала XX в. (Ю.П. Волчок, Е.И. Кириченко, М.А. Козловская, Н.А. Смурова, отв. ред. Ю.С. Лебедев). М., Стройиздат, 1977.
8. Витрувий. Десять книг об архитектуре. М., Академия архитектуры, 1936.
9. Альберти Леон Баттиста. Десять книг о зодчестве. М., 1935.
10. Палладио. Четыре книги об архитектуре. М., 1938 (издана в СССР в пер. И.В. Жолтовского).
11. Ф.В. Каржавин. Посвящение читателю. — В кн.: Сокращенный Витрувий или совершенный архитектор. М., Университетская типография у Н. Новикова, 1771, с. IX (цитата из кн. В.И. Рабиновича "Революционный просветитель Ф.В. Каржавин". М., 1966, с. 65).
12. Л. Вентури. Художник нового времени. М., 1956, с. 23.
13. Е.А. Некрасова. Тернер. М., 1976.
14. Joan Evans John Ruskin, London, 1954, p. 85.
15. Р. Мутер. История живописи в XIX веке. СПб., 1901. Т.П.
16. G. Francis Townsend. Ruskin and the Landscape Feeling. Urbana, 1951, p. 57.
17. И.В. Гете. Избранные сочинения по естествознанию. М., 1957.
18. И.В. Гете. Об искусстве. М., 1975.
19. E. Sylvia Crane. White silence. Miami, 1972, p. 27.
20. N. Wright. Horatio Greenough. The first American Sculptor. Philadelphia, 1963, p. 179.
21. H. Greenough. Form and function. Berkeley and Los Angeles, 1947, p. 56.
22. J.M. Fitch. Architecture and the aesthetics of Plenty. N.Y. — L., 1961, p. 137.
23. P. Sherman. Louis Sullivan: an architect in American thought. N.Y., 1962, p. 97.
24. Мастера архитектуры об архитектуре. М., 1972 (т. 1 и 2).
25. L. Sullivan. The Autobiography of an idea. N.Y., 1956, p. 290.
26. Э. Гоуард. Города будущего. СПб., 1911.
27. Архитектура СССР, 1934, № 2.
28. Architectural Record, 1935, 1Y, vol. 77, n. 4, p. 247.
29. А.Ф. Гольдштейн. Франк Ллойд Райт. М., 1973.
30. F.L. Wright. The Future architecture. N.Y., 1953.
31. F.L. Wright. An American architecture. N.Y., 1955, p. 99.
32. Le Corbusier. Sur les quatres routes I Paris, 1965, p. 261.
33. Мастера советской архитектуры об архитектуре. Киев, 1953.
34. К.А. Тимирязев. Соч., т. 5, М., 1933.
35. В.И. Талиев. Основы ботаники в эволюционном изложении. Л.—М., Сельхозгиз, 1933.
36. В.Ф. Раздорский. Архитектоника растений. М., Советская наука, 1955.
37. Э. Гидион. Пространство, время, архитектура. М., Стройиздат, 1975.
38. Mies van der Roe. Bauen—Wohnen, 1959, v. 9.
39. Ю.С. Лебедев, И.И. Бяльский. Гармония форм в живой природе и архитектуре. М., ЦНТИ, 1976.
40. Ю.С. Лебедев. От фантазии к реальности. — Литературная газета, 1978, 1 мая (ответ на статью Роя Мейзона).
41. Мейзон Рой. Биологическая архитектура — партнерство между природой и человеком. — См. ж. "Фьюрист", 1977, № 7 (США).
42. Ле Корбюзье. Архитектура XX века. М., Прогресс, 1970.

к гл. II

1. В.И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 29.
2. М.И. Сетров. Организация биосистем. Л., Наука, 1971.
3. В. Мартека. Бионика. М., Мир, 1967.
4. М. Розенталь. В.И. Ленин о диалектике как теории познания. — В ж. "Коммунист", июнь 1973, № 9.
5. В.В. Парин. Применение кибернетики в биологии и медицине. — В сб.: Биологические аспекты кибернетики. М., 1962.
6. А.Н. Колмогоров. Предисловие к русскому изданию. — В кн.: У.Р. Эшби "Введение в кибернетику", М., 1959.
7. Н.И. Вавилов. Избранные труды, т. У. М.—Л., 1965.
8. В.А.Н. Аверьянов. Система: философская категория и реальность. М., Мысль, 1976.

к гл. III

1. К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч., т. 21.
2. В.И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18.
3. В.А. Штофф. Моделирование и философия. М.—Л., Наука, 1966.
4. M.B. Hesse. Models and analogies in science. L.—N.Y., 1963.
5. С.И. Вавилов. Собр. соч., т. I, У. М., 1956.
6. Л.И. Седов. Методы подобия и размерности в механике. М., Гостехиздат, 1957.
7. К.Д. Воскресенский. Обратная теорема подобия. — В сб.: Теория подобия и моделирования. М., АН СССР, 1951.
8. В.Г. Клаус. Кибернетика и философия. Л.—М., 1963.

к гл. IV

1. К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч., т. 20, 23.
2. М.И. Сетров. Организация биосистем. Л., Наука, 1971.
3. Г. Лейбниц. Письмо к Я. Момазиусу о возможности примирить Аристотеля с новой философией. 1669. — В сб.: Г.В. Лейбниц "Избранные философские сочинения", Под ред. В.П. Преображенского. М., изд. И.Н. Кушнера и К^о, 1908.
4. А. Эйнштейн. Основы теории относительности. М.—Л., 1935.
5. А. Эйнштейн. Эволюция физики. М., 1965.
6. Р.А. Аронов. Гравитационные взаимодействия и прерывность пространства и времени. "Философские проблемы теории тяготения Эйнштейна и релятивистской космологии". Киев, 1965.
7. И.С. Алексеев. Пространство и квантовая механика. "Философские вопросы квантовой физики". М., 1970.
8. Ле Корбюзье. Архитектура XX века. М., Прогресс, 1970.
9. А.В. Бунин. История градостроительного искусства, т. 1. М., Стройиздат, 1953.
10. Л.И. Новикова. Эстетика и техника: альтернатива или интеграция. М., Политиздат, 1976.
11. Аркин Д. Архитектура современного Запада. М., 1932.
12. И.С. Дмитриев. Симметрия в мире молекул. М., Химия, 1976.
13. Узоры симметрии. Под ред. М. Сонешаль и Дж. Флека. М., Мир, 1980.
14. В.Б. Касинов, Б.А. Никитюк. Асимметрия. БМЗ, т. II, М., 1975.
15. Мастера советской архитектуры об архитектуре. М., Искусство, 1975.
16. Э. Гидион. Пространство, время, архитектура. М., Стройиздат, 1978.
17. А.В. Ахутин. История принципов физического эксперимента. М., Наука, 1976.
18. Н.Н. Воробьев. Число Фибоначчи. М., Наука, 1969.
19. Гика Матила. Эстетика пропорций в природе и искусстве. М., Всесоюзная академия архитектуры, 1936.
20. Рисунк. Под ред. А.М. Серова. М., Просвещение, 1975.
21. Г.Е. Тиммердинг. Золотое сечение. Петербург. Научное книгоиздательство, 1924. В кн.: [19].
22. А.Ф. Лосев. История античной эстетики (ранняя классика). М., 1963.
23. Витрувий. Десять книг об архитектуре. Изд-во Всесоюзной академии архитектуры. Т. 1. М., 1936.
24. Д. Пидоу. Геометрия и искусство. М., Мир, 1979.
25. Panofski Erwin. History of the Theory of Human Proportions as a Reflection of the History of Stills (Meaning in the visual Arts). N.Y., 1955.
26. И. Израэли. Анатомо-физиологические характеристики детского возраста. М., Медгиз, 1953.
27. С.В. Петухов. Биомеханика, бионика и симметрия. М., Наука, 1981.
28. И. Костов. Кристаллография. М., Мир, 1965.
29. И.Ш. Шевелев. Логика архитектурной гармонии. М., Стройиздат, 1973.

30. Ле Корбюзье. Архитектура XX века. М., Прогресс, 1970.
31. В.И. Мухина. Литературно-критическое наследие, т. 1. М., 1960.
32. Д. Рибера, М. Ерусалимчик. Вопросы синтеза архитектуры и изобразительного искусства. — Архитектура СССР, 1971, № 5.
33. Ю.С. Яралов. Синтез искусств и архитектуры общественных зданий. М., Советский художник, 1974.
34. Г. Борисовский. Образы будущего. — Декоративное искусство СССР, 1973, № 9.
35. Ю. Сакс. Учебник ботаники. СПб., 1870, т. 1.
36. Б.А. Севастьянов. Ветвящиеся процессы, М., Наука, 1971.
37. П. Линдсей, Д. Норман. Переработка информации у человека (Введение в психологию). М., Мир, 1974.
38. Л.М. Шафранова. Ветвление растений: процесс и результат. В сб.: "Жизненные формы: структура, спектры и эволюция". М., Наука, 1981.
39. А.Г. Медоев. Гравюры на скалах. Сары-Арка, Мангышлак, Алма-Ата, Жалын, 1979.
40. Г.Б. Борисовский. Наука, техника, искусство. М., Наука, 1969.
41. В.Б. Касинов. Биологическая изомерия. Л., Наука, 1973.

к гл. У и У1

1. Н.А. Милютин. Соцгород. М.—Л., Гос. изд-во РСФСР, 1930.
2. К.А. Тимирязев. Жизнь растений. М., 1949.
3. Goethes Werke ("Веймарское издание"). Weimar, 1887—1919 Abt. V, Bd. 6, s. 314, Abt. II, Bd. 6, s. 284 (том — "Морфология").
4. Дж. М. Смит. Модели в экологии. М., Мир, 1976.
5. В.В. Плотноков. Эволюция структуры растительных сообществ. М., Наука, 1979.
6. Н.П. Наумов. Экология животных. М., Высшая школа, 1963.
7. Г.В. Алферова. Математические основы русского градостроительства ХУ1—ХУП вв. — В сб.: Естественнонаучные знания в Древней Руси. М., Наука, 1980.
8. В. Лархер. Экология растений. М., Мир, 197В.
9. Б.В. Игнатьев. Ботаника. М., 1955.
10. Человек, общество и окружающая среда. Под ред. акад. И.П. Герасимова. М., Мысль, 1973.
11. В.Д. Раздорский. Архитектоника растений. М., Сов. наука, 1955.
12. А.К. Буров. Об архитектуре. М., Госстройиздат, 1960.
13. Ю.П. Волчок, А.И. Лазарев. Прогнозирование техники многоярусных структур на основе бионического метода (отношение: материал — форма). — В сб. науч. трудов: Проблемы формообразования в современной архитектуре. М., вып. 3, ЦНИИТИ — ЦНИИП градостроительства, 1976.
14. Фрей-Висслинг, К. Мюлеталер. Ультраструктура растительной клетки. М., Мир, 1968.
15. А.И. Лазарев. Модель структурно-функциональной организации стеблевых систем. В сб. науч. трудов: Проблемы формообразования в советской архитектуре. М., вып. 4, ЦНИИТИА — ЦНИИП градостроительства, 1978.
16. Ю.С. Лебедев. Архитектура и бионика. М., Стройиздат, 1977.
17. В.В. Александрян, Г.М. Саркисян. Стебли злаковых как возможный прототип при конструировании полых сооружений из композиционных материалов. В сб.: Архитектура, наука и техника. Тезисы докладов. М., Госгражданстрой НИИТИ, 1972.
18. Е. Одум. Экология. М., Просвещение, 1968.
19. В.И. Кремянский. Структурные уровни живой материи. М., Наука, 1969.
20. А.И. Лазарев. Архитектурно-бионические принципы демпфирующих систем сверхвысотных сооружений. В сб.: Научные труды П международной конференции стран — членов СЭВ "Бионика-78" (рефераты докладов), т. П, М.—Л., 1978.
21. Дж. Томсон. Предвидимое будущее. М., Изд-во иностр. лит., 1968.
22. Композиция в современной архитектуре. М., Стройиздат, 1973.

к гл. УП

1. И.В. Ламцов. Развитие метода изучения архитектурной композиции. — См.: Архитектурная композиция (современные проблемы). М., Стройиздат, 1970.
2. Г.Б. Борисовский. Красота и польза в архитектуре. М., Стройиздат, 1975.
3. Ю.С. Лебедев. Тектонизация архитектурной формы. — В кн.: Композиция в современной архитектуре. М., Стройиздат, 1973.
4. Дж. Гордон. Почему мы не проваливаемся сквозь поп. М., Мир, 1971.
5. П.Л. Нерви. Строить правильно. М., Стройиздат, 1956.

6. Густав Колонетти. Тонкостенные конструкции. М., Стройиздат, 1963.
7. Г.В. Темнов. Расчет образующих оболочек попожительной двоякой кривизны. — Сб. трудов ВЗПИ, вып. 83, серия "Строительство и архитектура". М., 1973.
Там же: Исследование уравнения поверхности оболочки, образованной двухфокусной кривой.
8. Давид Жорж Эммерих. Структуры. Ж. "Современная архитектура" (пер. с франц.), 1969, № 1.
9. Ю.С. Лебедев. Архитектура и бионика. М., Стройиздат, 1971.
10. Patzelt Otto. Wachsen und Bauen Konstruktionen in Natur und Technik. VEB Verlag für Bauwesen. Berlin, 1972.
11. Ф. Патури. Растения — гениальные инженеры природы. М., Прогресс, 1979.
12. В.Г. Темнов. Оптимальные структуры искусственных и биологических систем. Материалы 2-й Всесоюзной научно-технической конференции по автоматизированным системам управления в судостроении. Л., 1979.
13. В.Г. Темнов, Ю.С. Лебедев. Пространственные конструктивные системы бионического типа. Л., Знание, ЛДНТП, 1980.
14. Р. Александер. Биомеханика (пер. с англ.), М., Мир, 1970.
15. Д.И. Бетищев. Поисковые методы оптимального проектирования. М., Советское радио, 1975.
16. Я. Дитрих. Проектирование и конструирование. Системный переход. М., Мир, 1981.
17. А.А. Нарусбаев. Введение в теорию обоснования проектных решений. Л., Судостроение, 1976.
18. И.В. Борисов. Модели и методы векторной оптимизации. — В кн.: Исследование операций. Методологические аспекты. М., Наука, 1972.
19. А.А. Чирас. Основные виды задач оптимизации в механике твердого деформируемого тела и их математические модели. — В кн.: Литовский сборник по механике, 1979, № 20.
20. В.Г. Темнов. Теоретические исследования стержневых систем, оптимальных по массе. — Сб. научных трудов. Л., ЛенЗНИИЗП, 1981.
21. Ф.П. Васильев. Лекции по методу решения экстремальных задач. М., МГУ, 1974.
22. Д. Химмельблау. Прикладное нелинейное программирование. М., Мир, 1975.
23. Ч. Дарвин. Происхождение видов. — М.—Л., Сельхозгиз, 1937.
24. В.Г. Темнов, Л.И. Хозацкий. Структурные решения пространственно-стержневых конструкций в технике и природе. — В сб.: Архитектурная форма и научно-технический прогресс. М., Стройиздат, 1972.
25. В.Г. Темнов. Травекториальные структуры в живой природе (методика исследований). — В сб. Проблемы формообразования в советской архитектуре. М., ЦНИИТИА, 1978.
26. Г. Бранков. Основы биомеханики (пер. с болг.). М., 1981.
27. В.Г. Темнов. Энергетический подход в задачах оптимизации упругих шарнирно-стержневых конструкций и метод их решения. — В сб.: Натурные исследования конструкций зданий и сооружений. Л., ЛенЗНИИЗП, 1979.
28. Я.А. Пратусевич. Вариационные методы в строительной механике. М., ОГИЗ, 1948.
29. Д.А. Мацюлявичус. Принцип двойственности в линейных задачах синтеза оптимальных упругих шарнирно-стержневых систем. Литовский сборник по механике. Вильнюс, Минтис, 1969.
30. А.А. Чирас. Математические модели задач оптимизации для линейно-упругого тела. Литовский сборник по механике. Вильнюс, 1976.
31. В.Г. Темнов. Синтез оптимальной конфигурации шарнирно-стержневых систем. — В сб.: Исследование новых типов пространственных конструкций гражданских зданий и сооружений. Л., ЛенЗНИИЗП, 1977.
32. Б.Т. Поляк. О скорости сходимости штрафных функций. Журнал вычислительной математики и математической физики, т. П, 1971, № 1.
33. Е.К. Ашкенази, Э.В. Генов. Анизотропия конструкционных материалов. Справочник. Л., Машиностроение, 1980.
34. Hencky H. Zur Theory plastischer Deformationen und der hiedurch im Mater hervorgerufenen Nachspannungen. Z. angew Math. und Mech., 1924.
35. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1972.
36. Н.В. Власов. Выбор оптимальных параметров трехслойных пластин и оболочек при сжатии. — В кн.: Проектирование оптимальных конструкций. Куйбышев, КАИ, вып. 54, 1971.
37. Б.Ф. Прохоров, В.Н. Кобелев. Трехслойные конструкции в судостроении. Л., Судостроение, 1972.

38. В.Г. Теминов, А.А. Слеповичев. Оптимизация структуры пластинчатых элементов упругих комбинированных систем замкнутого объема. Сб. трудов ЛИСИ. Л., 1981.
39. В.Г. Темнов. Общая математическая модель оптимизации больших стержневых систем. — В сб.: Расчет и проектирование пространственных конструкций гражданских зданий и сооружений. Л., ЛенЗНИИЭП, 1975.
40. В.Г. Темнов. Методы перехода к безусловным задачам расчета и оптимизации стержневых систем. — В сб.: Пространственные конструкции в гражданском строительстве. Л., Стройиздат, 1974.
41. В.Г. Темнов, А.А. Слеповичев. К вопросу оптимизации по массе пластинчато-стержневых систем замкнутого объема при различных комбинациях нагрузок. — В кн.: Исследование пространственных конструкций и технология их изготовления. Л., ЛенЗНИИЭП, 1980.
42. Г. Вейль. Симметрия. М., Наука, 1968.
43. К. Лангстрот, С. Дадан. Пчела и улей, М., Колос, 1930.
44. А.М. Розов, Б.М. Губин и др. Пчеловодство. М., Колос, 1948.
45. Ю.С. Лебедев. Дом-улитка и др. М., Московский рабочий, 1983.
46. J.S. Lebedew. Architektur und Bionik. Verlag MIR, Moskau; VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1983.
47. Ю.С. Лебедев, Т.М. Самохина. Трансформируемые конструкции в современной архитектуре. М., ЦНТИ, 1983.

Ю. С. Лебедев,
В. И. Рабинович,
Е. Д. Положай и др.

АРХИТЕКТУРНАЯ БИОНИКА

Редакция переводных изданий
Зав. редакцией Р. Л. Рощина
Редактор И. А. Городецкая
Макет и оформление В. П. Сысоева
Художественный редактор Э. С. Хвостюк
Технический редактор Н. А. Белькович
Корректор В. И. Галюзова

ИБ № 2985

Подписано в печать 24.01.89. Формат 60х90/8. Набор машинопис-
ный. Т — 17397. Бумага офсетная №2. Печать офсетная. Усл. печ. л.
31,62. Усл. кр.-отт. 32,08. Уч.-изд. л. 38,51. Тираж 11000 экз.
Изд. № А1Х-9928. Заказ № 739. Цена 2 р. 90 к., в переплете № 7 — 3 р. 30 к.

Стройиздат 101442, Москва, Каляевская, 23а
Московская типография № 6 Госкомпечати СССР,
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

АРХИТЕКТУРНАЯ БИОНИКА

В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ МИРА ПОЧТИ ОДНОВРЕМЕННО РОДИЛОСЬ АРХИТЕКТУРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПОД ЛОЗУНГОМ – „НАВСТРЕЧУ ЖИВОЙ ПРИРОДЕ“. ИСТОРИЯ СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ, ЧТО НАРОДНЫЕ МАСТЕРА ВСЕГДА ОБРАЩАЛИСЬ ЗА СОВЕТОМ К НЕЙ: БУДЬ ТО КРАСИВАЯ ФОРМА ЦВЕТКА, ЧЕШУЙКИ СОСНОВОЙ ШИШКИ ИЛИ ВОЛНИСТАЯ ФОРМА МОРСКОЙ РАКОВИНЫ.

СЕГОДНЯ ЗОДЧИЕ, ВООРУЖЕННЫЕ НОВЫМИ ЗНАНИЯМИ И СРЕДСТВАМИ ТЕХНИКИ, ПРОНИКАЮТ В ТАЙНЫ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ, ИЩУТ В НЕЙ ПРИНЦИПЫ СОГЛАСОВАННОСТИ ЧАСТЕЙ, ИХ ДВИЖЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, СВЯЗИ ФУНКЦИИ И ФОРМЫ, ПРОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ. ИХ ВОЛНУЕТ НЕПРЕРЫВНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА, ЗАКОНЫ ЕГО ГАРМОНИИ. НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭТИХ ЗАКОНОВ РОЖДАЕТСЯ ДО СИХ ПОР НЕ ИЗВЕСТНАЯ МОБИЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА, ПОЯВЛЯЕТСЯ НОВАЯ ПЛАСТИКА И ЭСТЕТИКА.

В СССР ЭТИМИ ВОПРОСАМИ НАЧИНАЯ С 1950 – 1960-Х ГОДОВ ЗАНИМАЕТСЯ НАПРАВЛЕНИЕ, НАЗВАННОЕ АРХИТЕКТУРНОЙ БИОНИКОЙ. НЕКОТОРЫЕ ИЗ ЕГО АКТИВНЫХ УЧАСТНИКОВ ВХОДЯТ В АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ НАСТОЯЩЕЙ КНИГИ. В ФРГ ПРИМЕРНО В ТЕ ЖЕ ГОДЫ ОФОРМИЛОСЬ СХОДНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ, ПОЛУЧИВШЕЕ НАИМЕНОВАНИЕ „ПРИРОДООБРАЗНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО“. ЕГО ВОЗГЛАВИЛ ИЗВЕСТНЫЙ ТЕОРЕТИК И ПРАКТИК АРХИТЕКТУРЫ ФРАЙ ОТТО. В США ПАОЛО СОЛЕРИ СФОРМИРОВАЛ АРКОЛОГИЮ; В ЮГОСЛАВИИ АНДРЕЙ МУТНЯКОВИЧ ПРОВОЗГЛАСИЛ БИОУРБАНИЗМ; В БОЛГАРИИ, ЧЕХОСЛОВАКИИ, ГДР АРХИТЕКТОРЫ МАТЕЙ МАТЕЕВ, МИХАИЛ ШАРАФИН, ОСКАР БЮТТНЕР, КАЖДЫЙ ПО-СВОЕМУ ВЫРАЗИЛ В СВОИХ РАБОТАХ ОТНОШЕНИЕ К ЖИВОЙ ПРИРОДЕ. ВСЕ ОНИ – УЧАСТНИКИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КНИГИ, ХОТЯ КРУГ СПЕЦИАЛИСТОВ В ЭТОЙ ОБЛАСТИ ДАЛЕКО НЕ ОГРАНИЧЕН НАЗВАННЫМИ АРХИТЕКТОРАМИ.

В МАТЕРИАЛАХ КНИГИ ПРИСУТСТВУЮТ НАПРАВЛЕНИЯ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКОГО И МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО, ТАК И ПРАКТИЧЕСКОГО ПЛАНА.

Architectural Bionics

IN VARIOUS COUNTRIES OF THE WORLD QUITE AT THE SAME TIME THERE WAS BORN AN ARCHITECTURAL MOVEMENT UNDER THE SLOGAN "TOWARDS THE LIVE NATURE". THE HISTORY TESTIFIES THAT NATIONAL CRAFTSMEN HAVE ALWAYS ASKED ITS ADVICE, LET IT BE A BEAUTIFUL FORM OF A FLOWER, SCALES OF A PINE-CONE OR A WAVY FORM OF A SHELL.

NOWADAYS ARCHITECTS ARMED WITH NEW KNOWLEDGE AND TECHNICAL MEANS PENETRATE INTO THE MYSTERIES OF THE LIVE NATURE, SEEK FOR THE PRINCIPLES OF CO-ORDINATION AMONG ITS PARTS, THEIR MOVEMENT AND INTERACTION, CONNEXION OF THE FUNCTION AND FORM, RIGIDITY AND RELIABILITY. THEY ARE EXCITED ABOUT CONTINUITY OF SPACE AND LAWS OF ITS HARMONY. OWING TO USE OF THESE LAWS THERE COMES INTO BEING A NEW MOBILE ARCHITECTURE UNKNOWN UP TO NOW AND THERE APPEARS NEW PLASTIC ARTS AND AESTHETICS.

IN THE USSR BEGINNING FROM 1950/1960-S THESE QUESTIONS ARE BEING DEALT WITH BY THE TREND CALLED ARCHITECTURAL BIONICS. SOME OF ITS ACTIVE PARTICIPANTS ARE THE AUTHORS OF THIS BOOK. IN GFR (GERMAN FEDERAL REPUBLIC) APPROXIMATELY IN THOSE YEARS THERE WAS FORMED A SIMILAR TREND WHICH WAS NAMED "NATUREWISE CONSTRUCTION". IT WAS HEADED BY FRY OTTO, THE NOTORIOUS ARCHITECTURE THEORIST AND PRACTICAL SCHOLAR. IN THE USA PAOLO SOLERY FORMED ARCHOLOGY; IN YUGOSLAVIA ANDREY MOUTNYAKOVITCH PROCLAIMED BIORBANISM; IN BULGARIA, CZECHOSLOVAKIA AND GDR (GERMAN DEMOCRATIC REPUBLIC) ARCHITECTS MATEI MATEEV, MIKHAIL SHARAFIN AND OSCAR BÜTTNER, EACH IN HIS OWN WAY, EXPRESSED IN THEIR WORK THEIR ATTITUDE TO THE LIVE NATURE. ALL OF THEM ARE CO-AUTHORS OF THE BOOK BEING OFFERED, THOUGH THE CIRCLE OF EXPERTS IN THIS FIELD IS FAR FROM BEING RESTRICTED BY THE AFORENAMED ARCHITECTS. THE BOOK EMBRACES THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND PRACTICAL TRENDS.
